

*Fractalité et fait urbain :  
De l'analyse des structures spatiales au concept d'aménagement*

**Pierre Frankhauser**

**ThéMA**  
UMR 6049 Théoriser & Modéliser pour Aménager

**Théo Quant 2017**  
Nouvelles approches en Géographie Théorique & Quantitative

## **I. L'analyse fractale des tissus urbains**

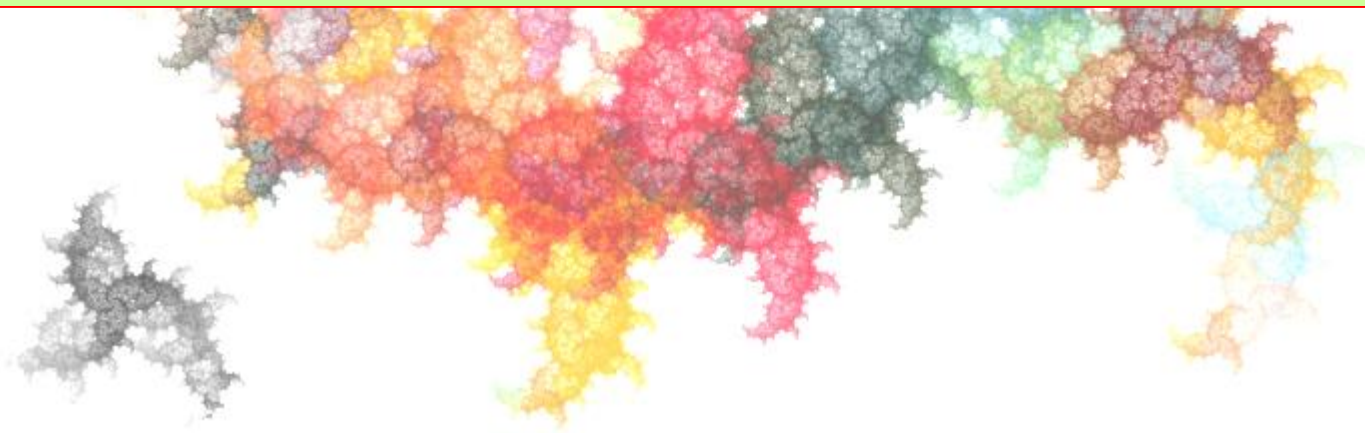
- **L'intérêt de la géométrie fractale en géographie urbaine**
- **Les modèles de référence**
- **Mesurer la fractalité**
- **La fractalité des tissus urbains**
- **Réseaux et surface bâtie**

## **II. Un concept d'aménagement fractal pour un développement urbain durable**

- **Contexte et concept général**
- **Le modèle formel des lieux centraux**
- **L'application du concept**
- **Normes morphologiques**
- **Critères d'accessibilité**
- **Application**



# I. L'analyse fractale des tissus urbains



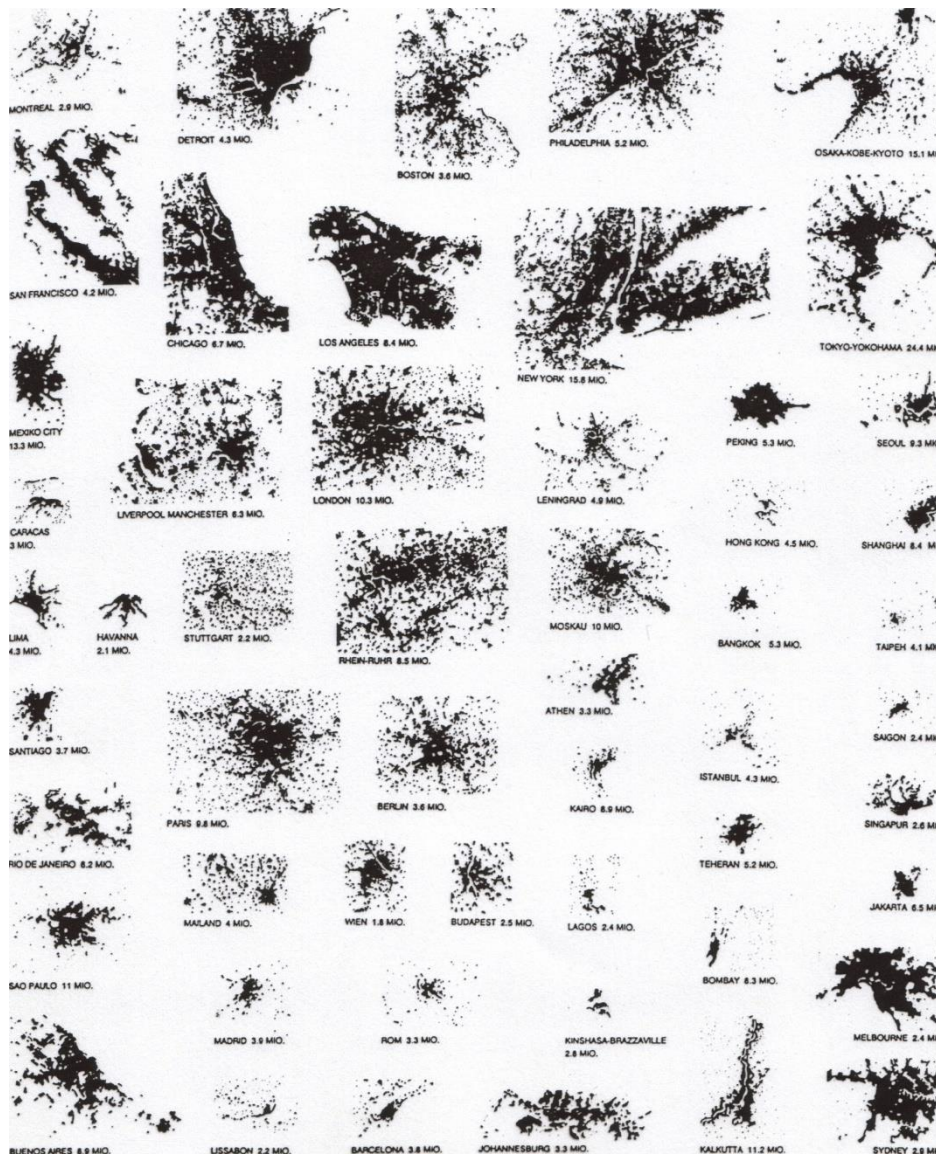


# L'intérêt de la géométrie fractale en géographie urbaine

# Les agglomérations actuelles : des tissus « amorphes » ou simplement des systèmes multi-échelles à forme complexes ?



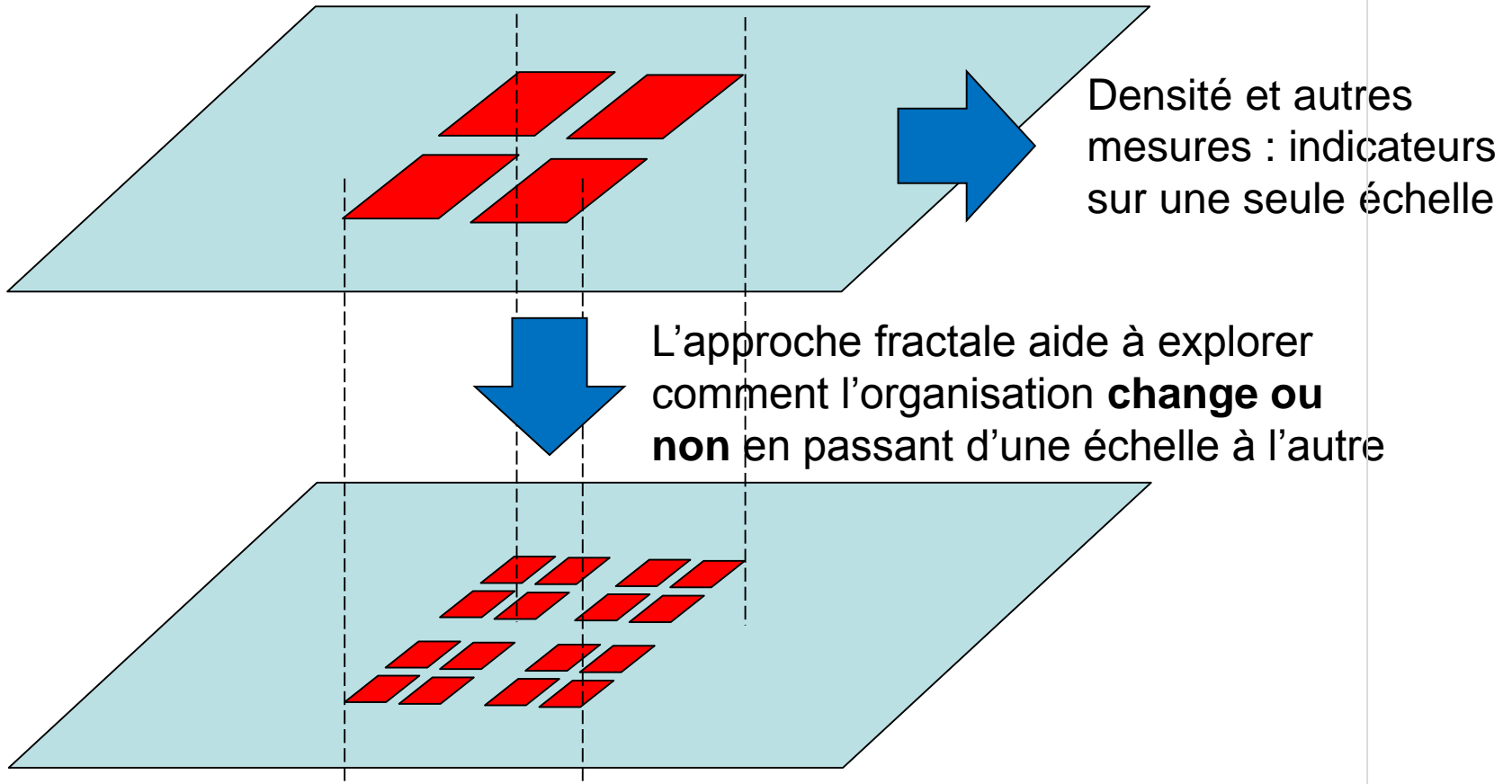
*Les approches traditionnelles souvent mal adaptés à quantifier la complexité*



## Quel est l'intérêt de l'approche fractale ?

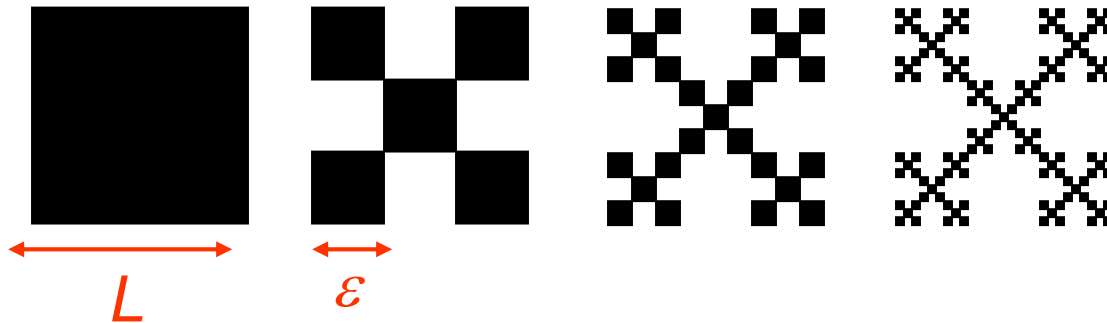
- ❑ elle s'affranchit de toute échelle particulière et permet une lecture trans-échelles de l'organisation spatiale des tissus urbains
- ❑ elle permet de découvrir des ruptures propres à certaines échelles de l'organisation spatiale
- ❑ elle ne se substitue pas à une approche mono-échelle, mais la complète par une information supplémentaire
- ❑ l'approche fractale est d'abord **une approche de modélisation spatiale** qui permet d'analyser l'organisation spatiale
- ❑ « les méthodes de mesure imitent les modèles »
- ❑ étroite articulation entre modèle et mesure
- ❑ comparaison possible entre modèles spatiaux et structures empiriques
- ❑ réflexions conceptuelles sur l'organisation spatiale des villes dans l'aménagement urbain

# logique horizontale et verticale



# Qu'est qui est une fractale ?

Exemple : fractale construite - un tapis de Sierpinski



Initiateur    Générateur

$$N = 5, \quad \varepsilon = 1/3 L = r L$$

1<sup>ère</sup> étape    2<sup>e</sup> étape    3<sup>e</sup> étape

$$N_1 = N \quad N_2 = N^2 \quad N_3 = N^3$$

$$\varepsilon_1 = r L \quad \varepsilon_2 = r^2 L \quad \varepsilon_3 = r^3 L$$





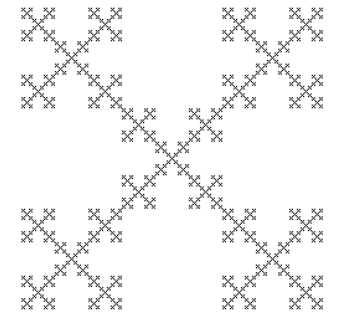
# Les modèles de référence

**Différents modèles de références – différentes approches de mesures surface – bord – clusters...**

- tapis de Sierpinski
- poussière de Fournier
- modèles mixtes
- téragone

un seul agrégat

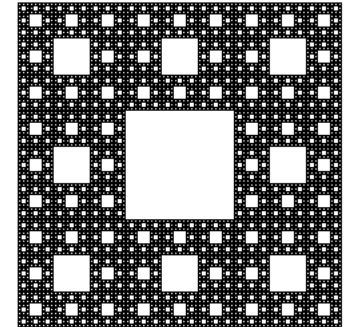
$$D_s = D_{b-tot} = D_{b-clust} = 1,46$$



un seul agrégat

$$D_s = D_{b-tot} = 1,89$$

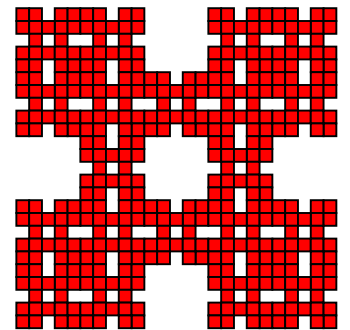
$$D_{b-ext} = 1 < D_{b-tot}$$



un seul agrégat

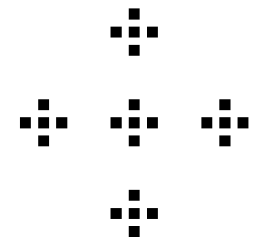
$$D_s = D_{b-tot} = 1,72$$

$$D_{b-ext} = 1.21 < D_{b-tot}$$



hiérarchie d'agrégats

$$D_s = D_b = 1,00$$

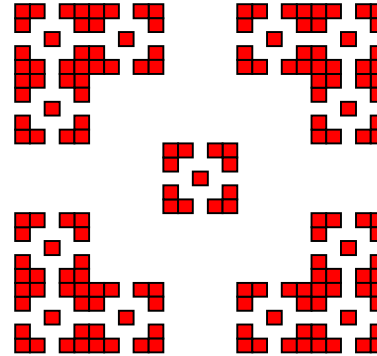


# Tapis mixtes (tapis de Sierpinski / poussière de Fournier) Hierarchie d'agrégats (proche de la réalité)

Série d'agrégats

$$D_{surf/tot} = D_{bord/tot} = 1,59$$

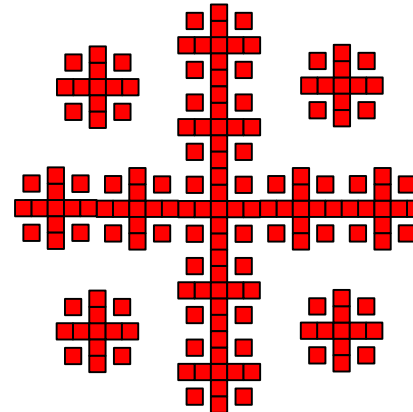
$$D_{surf/agr} = D_{bord/agr} = 1,54$$



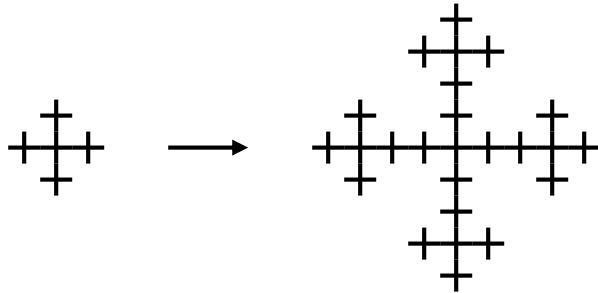
Série d'agrégats

$$D_{surf/tot} = D_{bord/tot} = 1,59$$

$$D_{surf/agr} = D_{bord/agr} = 1,36$$



## Structures réseautiques

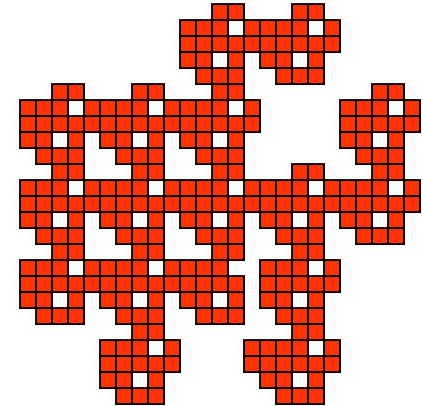
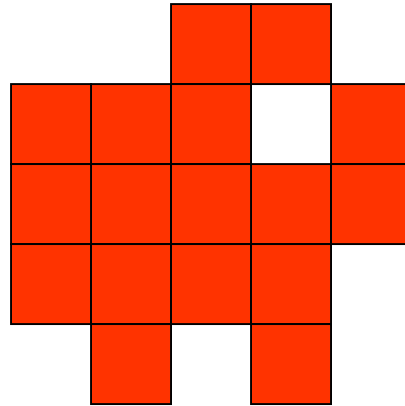


$D = 1,46$  (= tamis de Sierpinski)

*hiérarchie des branches*

# De la théorie vers le monde réel : fractales aléatoires

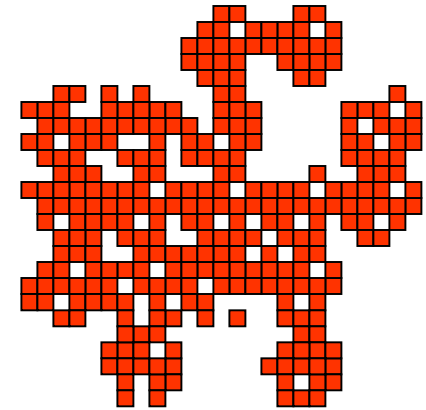
un générateur moins symétrique ...



*itération stricte*

... et une position plus aléatoire pour les étapes suivantes

*Les lacunes déjà générées sont à respecter !!*



*variation aléatoire  
en 2<sup>e</sup> étape*

The background of the slide features several fractal structures. At the top, there are three distinct clusters: a purple and green one on the left, a yellow and orange one in the center, and a blue and grey one on the right. Below these, a larger, more complex fractal structure is shown, composed of many smaller, multi-colored clusters (red, orange, yellow, green, blue, grey) that form a dense, branching pattern. The overall appearance is that of a complex, self-similar geometric structure.

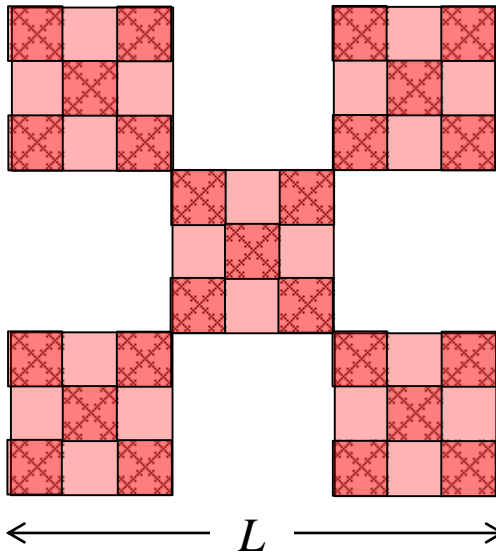
# Mesurer la fractalité

# Comment quantifier ces ensembles ?

surface  $\rightarrow$  zéro  
Longueur bord  $\rightarrow$  infini

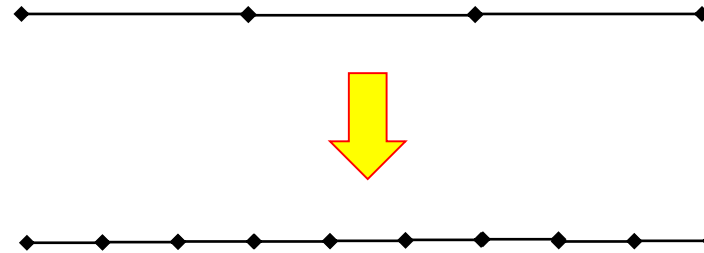


logique de la couverture minimale  
on cherche une mesure constante



$$N_2 = 5^2$$
$$r = (1/33)^2$$

$$N_n \times \varepsilon_n^D = \text{const}$$
$$\Rightarrow D = -\frac{\log N}{\log r}$$



**Loi fractale :**

$$N_n = a \times \varepsilon_n^{-D}$$

$$\Rightarrow \log N_n = \log a - D \log \varepsilon_n$$

**Le principe de répétition multiplicatif engendre une loi hyperbolique**

## Méthodes d'analyse :

- ❑ logique de la couverture modifiée :
  - ❖ résolution variable d'une distance/taille  $\varepsilon$
  - ❖ comptage du nombre d'éléments
  - ❖ vérification loi fractale  $N(\varepsilon) \sim \varepsilon^{-D}$

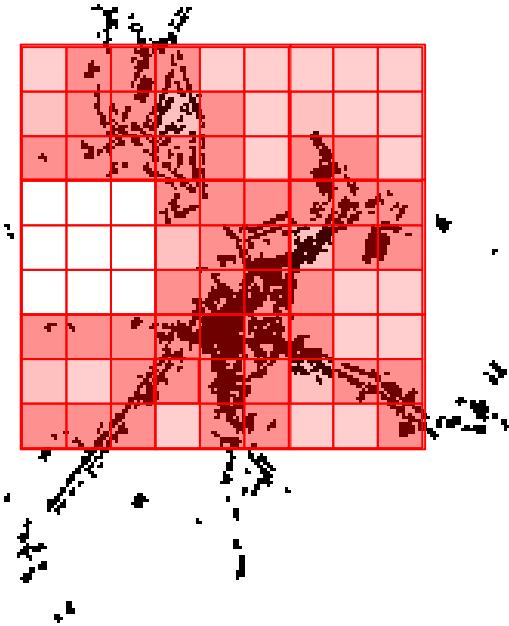
$$N(\varepsilon) \sim \varepsilon^{-D}$$

- ❑ il existe différentes méthodes de mesures
- ❑ les différentes méthodes ne sont pas équivalentes, il renseignent sur des aspects différents.
- ❑ une méthode appropriée pour l'étude des structures surfaciques ne se prête pas nécessairement à l'étude de la tortuosité d'une bordure
- ❑ une méthode locale ne transcrit pas la même information qu'une méthode globale
- ❑ en principe chaque procédure qui permet de faire varier la résolution  $\varepsilon$  (approche multi-échelles)

fractalyse développé à ThéMA (Vuidel)



## Dimension du quadrillage



- ❑ couverture de la zone d'étude par un carroyage à maille de taille de variable  $\varepsilon$
- ❑ comptage du nombre  $N(\varepsilon)$  de mailles contenant du bâti

**pas de transformation de données**

**Information globale sur la zone d'étude sélectionnée**

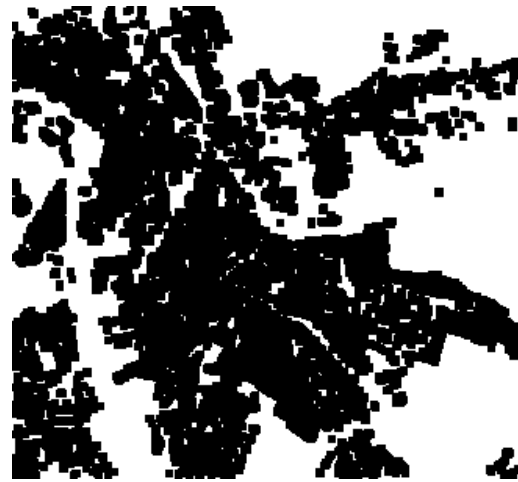
# analyse de dilatation

dilatation progressive de la texture

- ❑ Procédure de lissage progressif
- ❑ perte progressive de détails



texture



2<sup>e</sup> étape

transformation des données

information globale

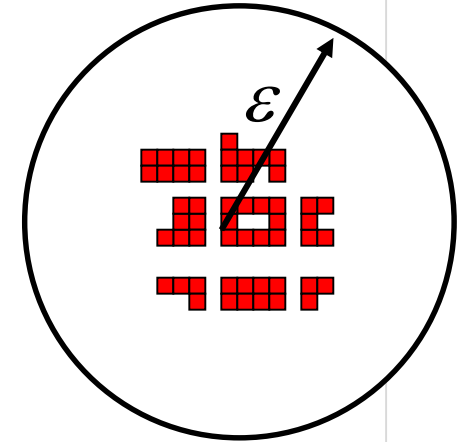
# analyse radiale

- ❑ choix d'un centre de comptage
- ❑ compter le nombre  $N(\varepsilon)$  de sites occupés situés à une distance  $\varepsilon$  du centre de comptage choisi

« *dimension fractale locale* »

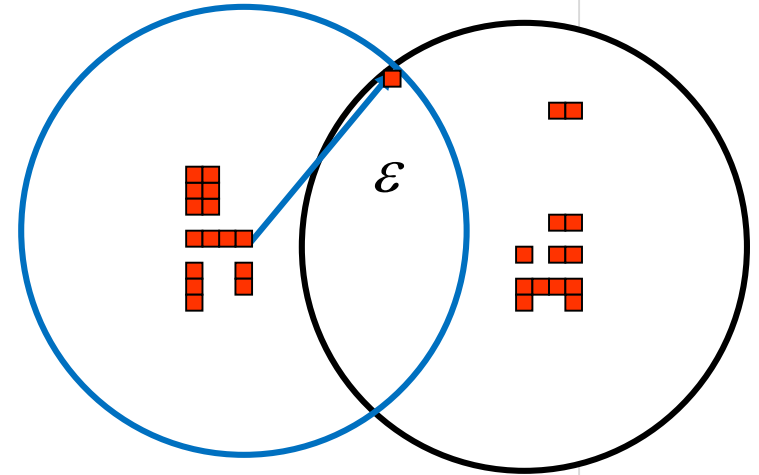
pas de transformation de données

Information locale sur la proximité du point de comptage



# analyse de corrélation

- ❑ choix d'une zone d'étude
- ❑ compter selon la logique de l'analyse radiale le nombre  $N(\varepsilon)$  de sites occupés situés à une distance inférieure à  $\varepsilon$  de chaque site occupé
- ❑ calculer nombre moyen  $N_{mean}(\varepsilon)$  de sites occupés situés à une distance  $\varepsilon$  (nombre de „corrélations”)



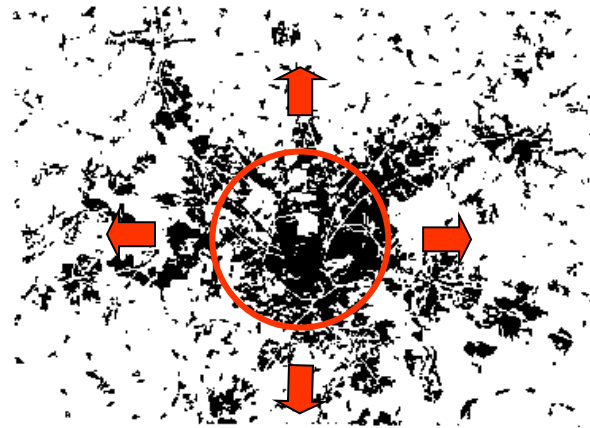
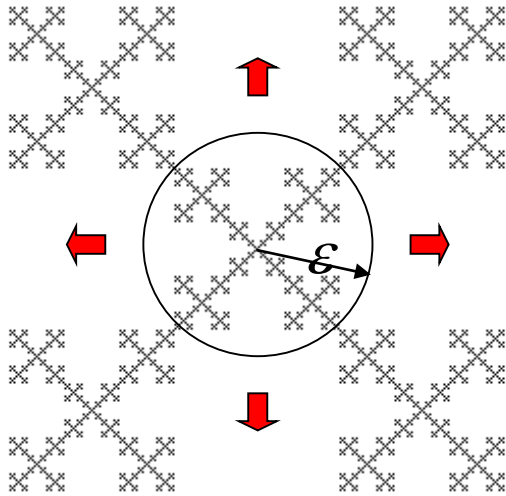
**Loi fractale:**  $N_{mean}(\varepsilon) \propto \varepsilon^{D_{corr}}$   
*dimension de second ordre*

**pas de transformation de données**

**Information globale sur la zone d'étude sélectionnée**

# signification de la dimension fractale

pour des surfaces : mesure la baisse de concentration de la surface bâtie dans le voisinage d'un bâtiment et le contraste dans le tissu urbain



$$\frac{d\rho}{\rho} = (D - 2) \frac{d\varepsilon}{\varepsilon}$$

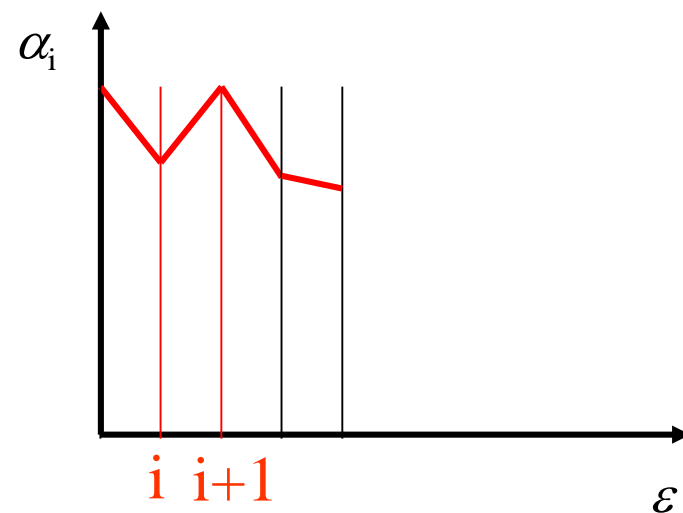
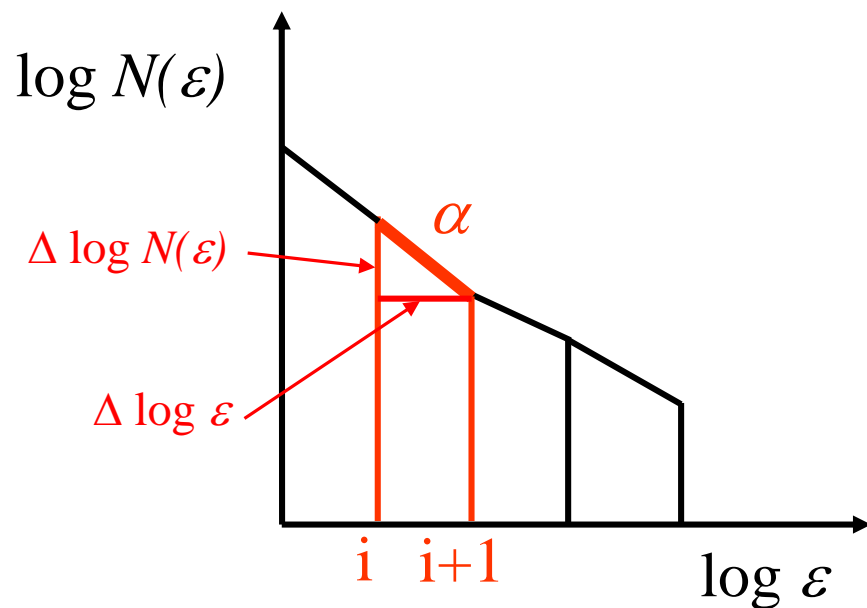
variation relative de la densité

dimension fractale

variation relative de la distance

changement relatif de la densité

# Courbe du comportement scalant



pente dans la représentation bi-log

comportement  
scalant local

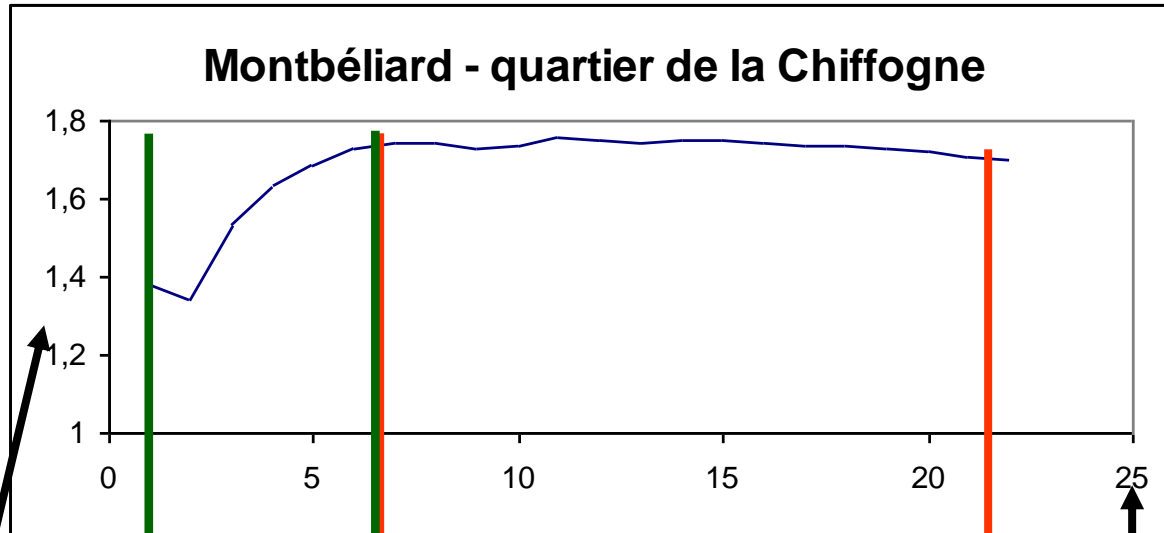
$$\log N_n = \log a - D \log \varepsilon_n \quad \text{relation linéaire}$$

$$\alpha = \frac{\Delta \log N(\varepsilon)}{\Delta \log \varepsilon}$$

***bon indicateur pour identifier les ruptures  
dans le comportent fractal***

# Exemple réel du comportement scalant

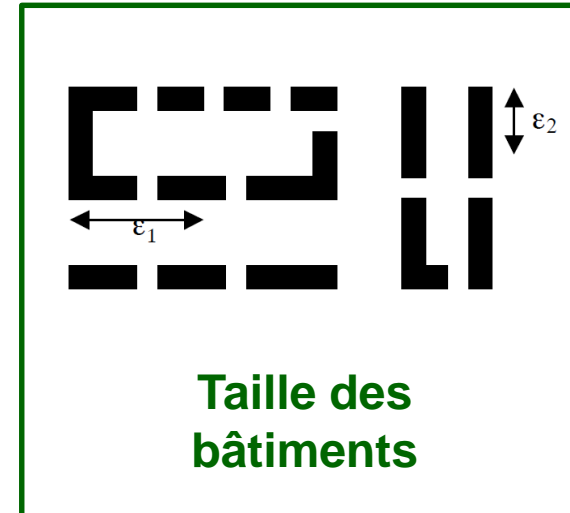
## Analyse de corrélation



fourchette  
stable pour  
l'estimation

exposant scalant  $\alpha$

paramètre de distance  $\varepsilon$

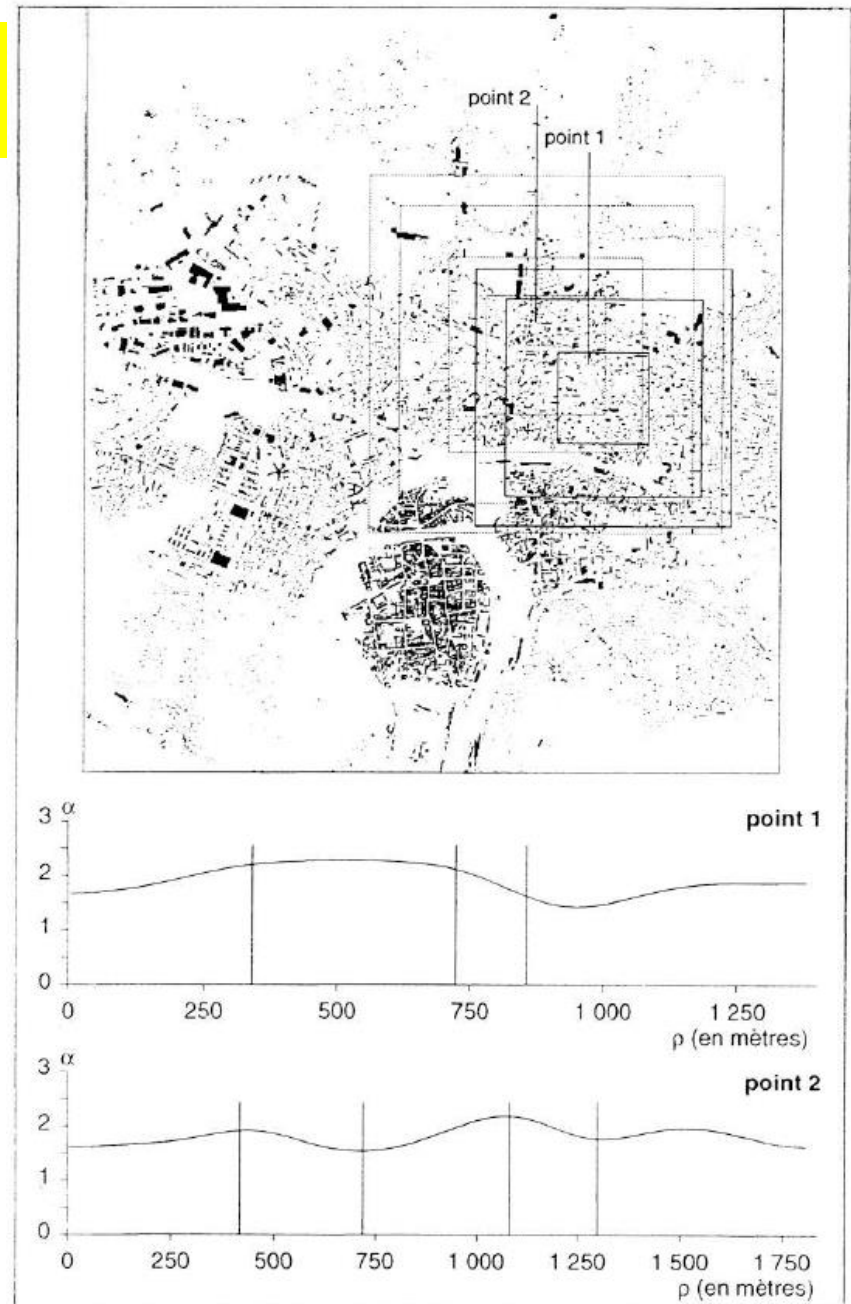


aussi passage  
Fournier  $\rightarrow$  Sierpinski

## Segmentation de zones en fonction du comportement scalant

Analyse radiale  
Comportement scalant lissé

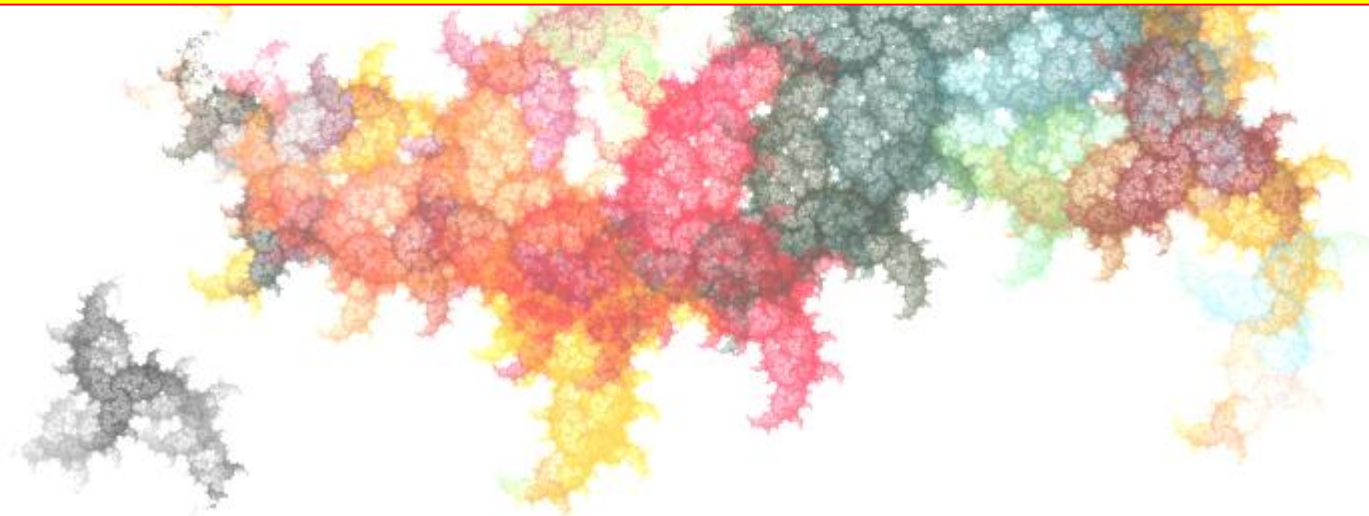
Identification des ruptures







# La fractalité des tissus urbains

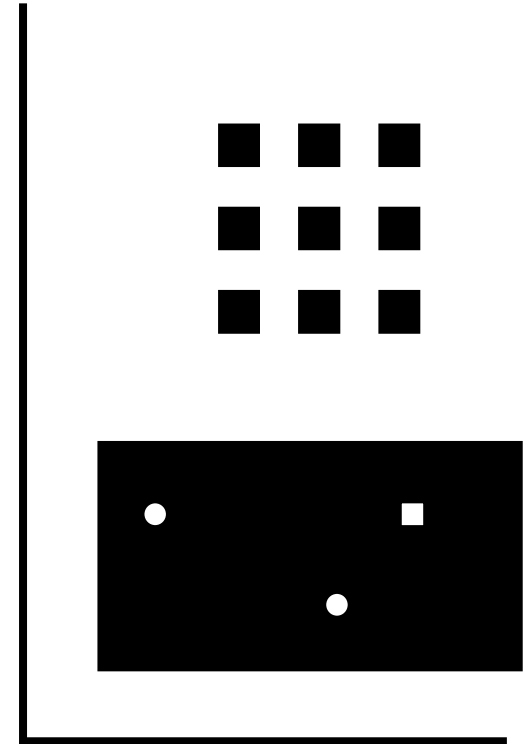


## tissus uniformes : $D \rightarrow 2$



Bruxelles  
quartier  
pavillonnaire  
 $D_{cor} = 1,95$

Bruxelles  
péricentre  
dense  
 $D_{cor} = 1,97$



# tissus contrastés : dimensions plus faibles

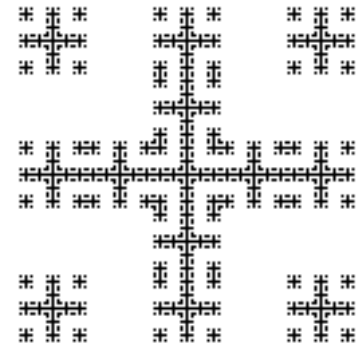


Montbéliard  
Valentigney  
 $D_{cor} = 1,75$



Cergy-Pontoise  
 $D_{cor} = 1,73$

Fractale contrastée  
 $D = 1,59$



## Quelques observations générales

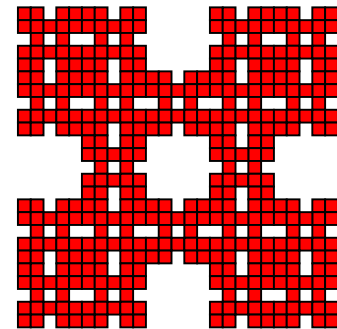
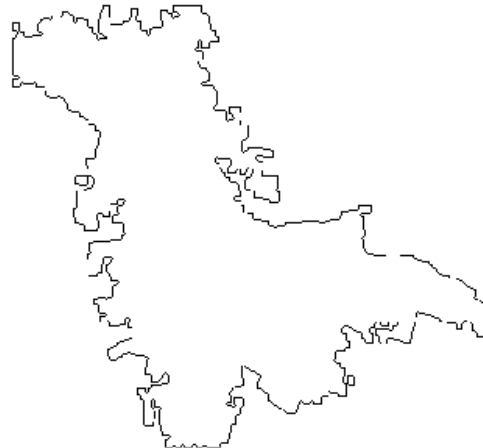
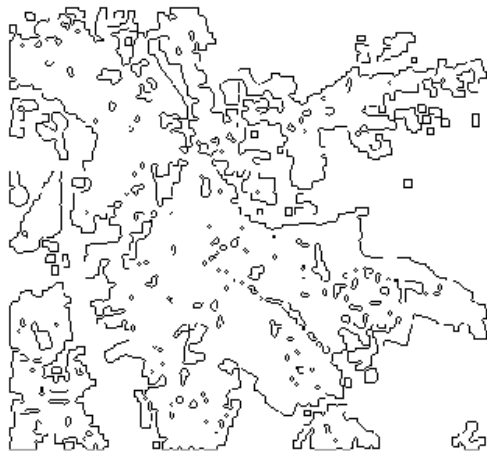
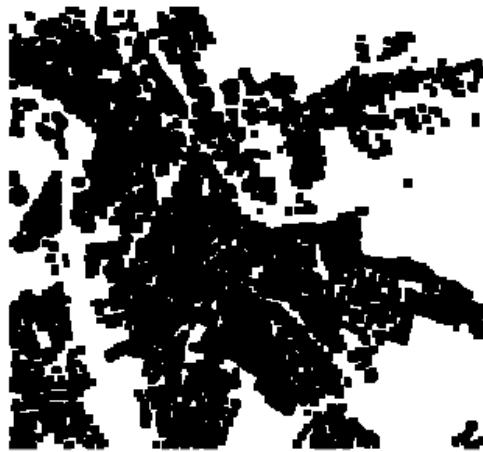
La fractalité est conditionnée par

- ➔ le contexte d'urbanisation  
(histoire, contexte socio-économique, concepts urbanistiques)
- ➔ La politique locale d'aménagement, par exemple « arrondir les bordures »
- ➔ Le contexte législatif
- ➔ la topographie est moins importante, elle se manifeste à l'échelle de l'agglomération

☞ *la fractalité des tissus urbains est apparemment le résultat d'interactions entre planification et processus auto-organisés*

## Analyse des bordures:

- dilatation jusqu'à l'apparition d'agrégats (souvent quelques étapes)
- extraction de la bordure (totale ou agrégat)
- analyse fractale

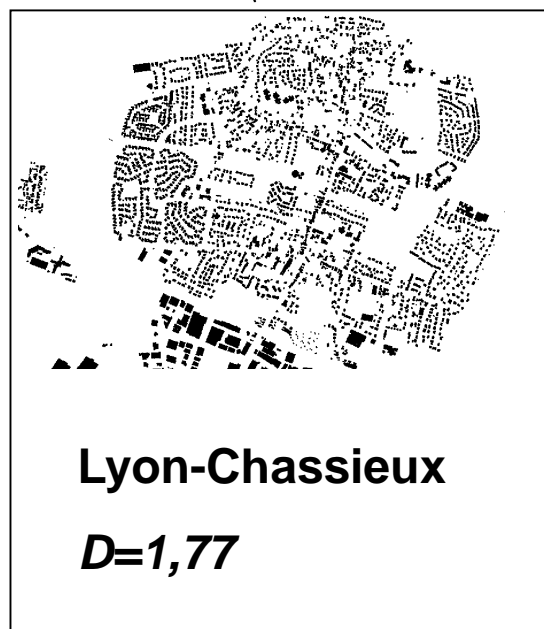
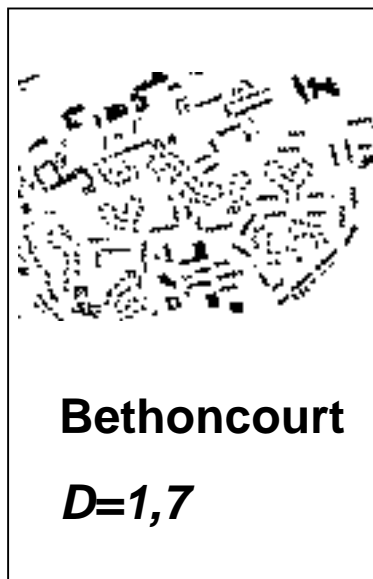
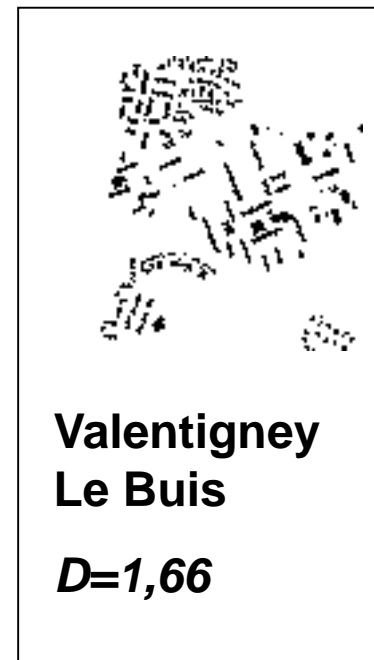
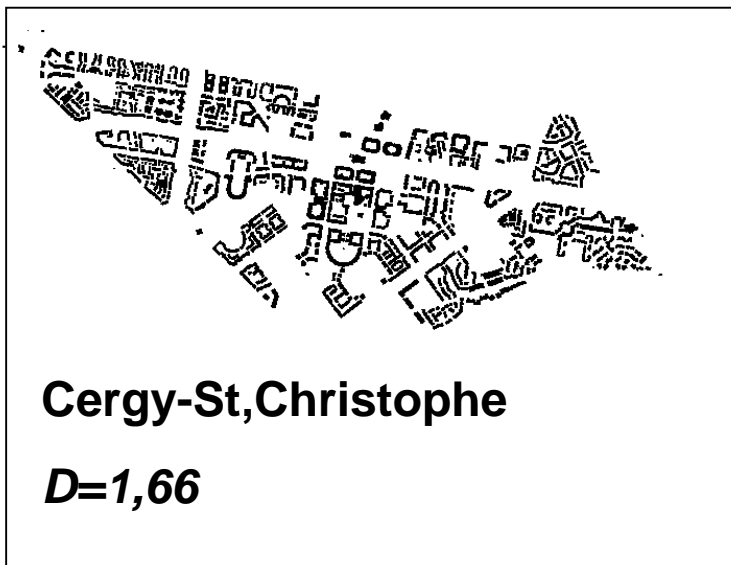


# Exemple d'un types particuliers de tissus :

## Les quartiers « Le Corbusier » et les villes nouvelles

$$1,63 < D_{corr} < 1,77$$

des tissus fortement contrastés



## Quelques fourchettes typiques de dimensions pour les surfaces bâties *dimension de corrélation*

centres urbains	$1,8 < D < 1,95$
pavillonnaire	$1,75 < D < 1,89$
villes nouvelles	$1,63 < D < 1,77$
péricentre	$1,61 < D < 1,87$
corons miniers	$1,81 < D < 1,92$



Une zones pavillonnaire très uniforme à l'Ouest de Lyon :

$$D_{surf} = 1,89$$

# Comparaison $D_{surf} / D_{bord}$ : illustre la fragmentation et la tentacularité



**St.Priest (agl. Lyon)**

$$D_{surf} = 1.74$$

$$D_{bord} = 1.51$$

**fragmenté**



**Fellbach**

$$D_{surf} = 1.81$$

$$D_{bord} = 1.45$$

**plus compact**



**Stuttgart**

$$D_{surf} = 1.80$$

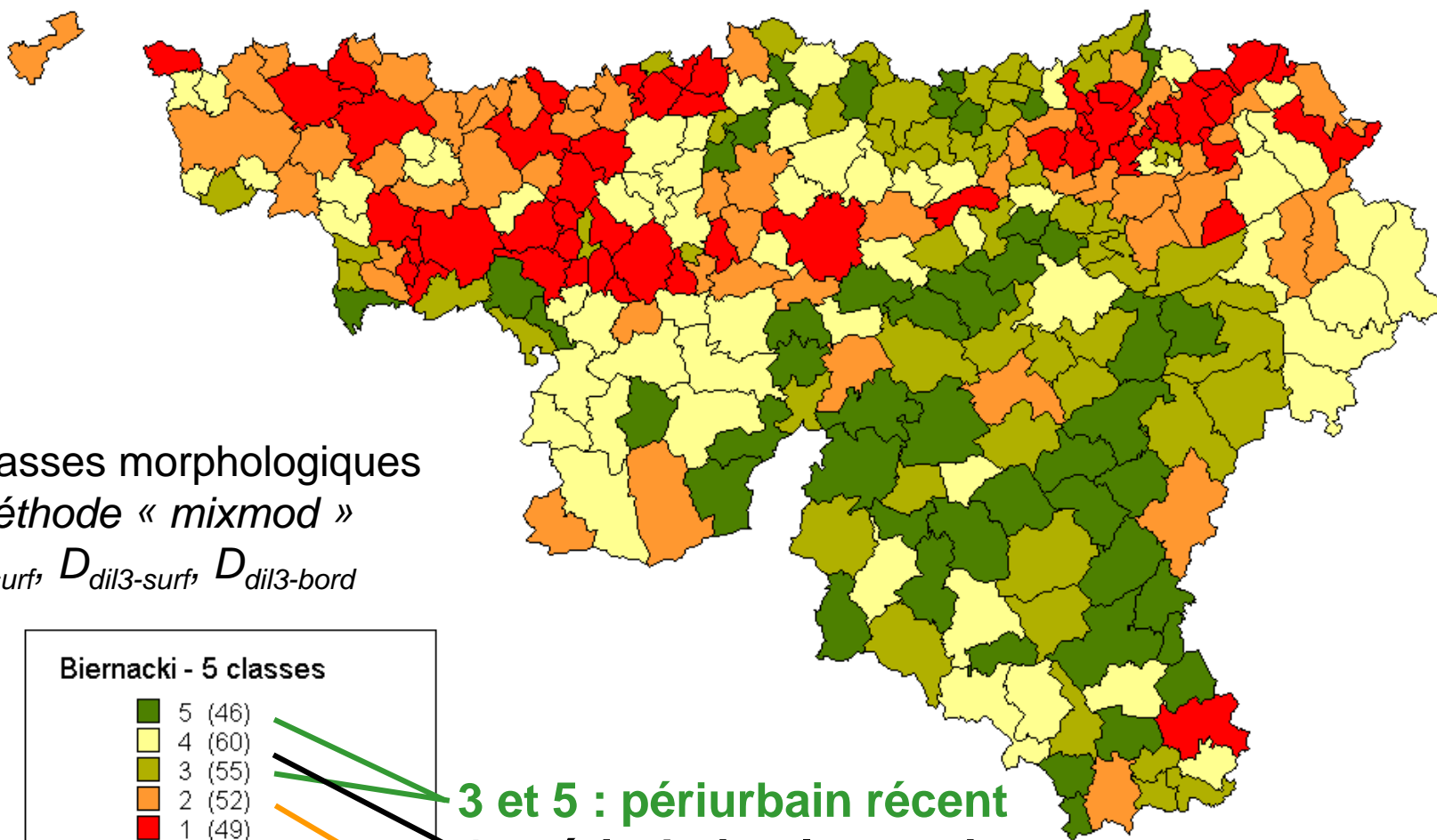
$$D_{bord} = 1.36$$

**assez compact**



# Wallonie : Lien entre dimension fractale et contexte historique

source : I. Thomas, P. Frankhauser, C. Biernacki

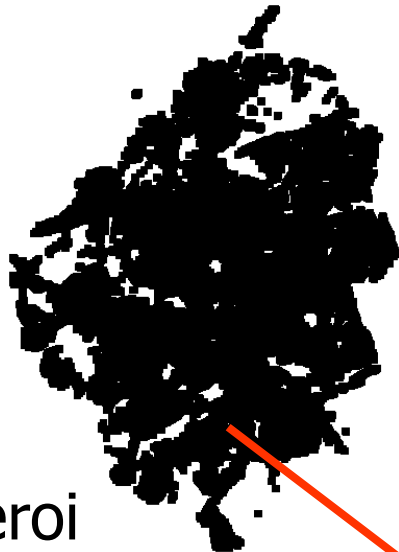


Classes morphologiques  
*méthode « mixmod »*  
 $D_{surf}$ ,  $D_{dil3-surf}$ ,  $D_{dil3-bord}$

Biernacki - 5 classes	
5 (46)	Dark Green
4 (60)	Light Yellow
3 (55)	Light Green
2 (52)	Orange
1 (49)	Red

**3 et 5 : périurbain récent**  
**4 : périurbain plus ancien**  
**2 : bourg + suburbain**  
**1 : urbain + suburbain**  
**(urbanisation Sambre-Meuse)**

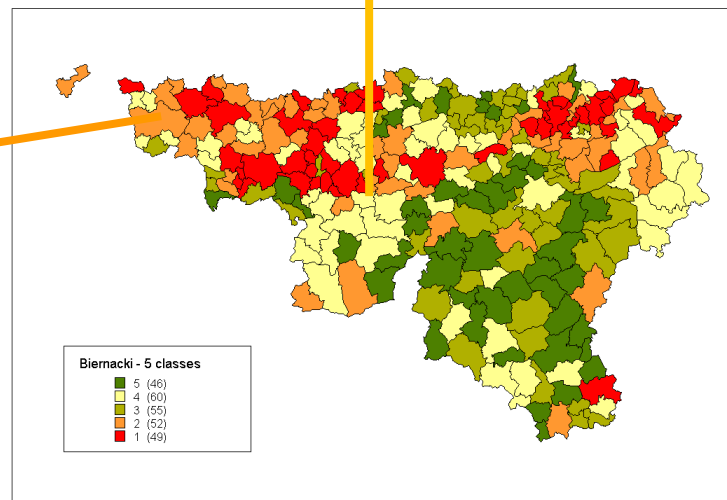
Charleroi



Gerpinnes

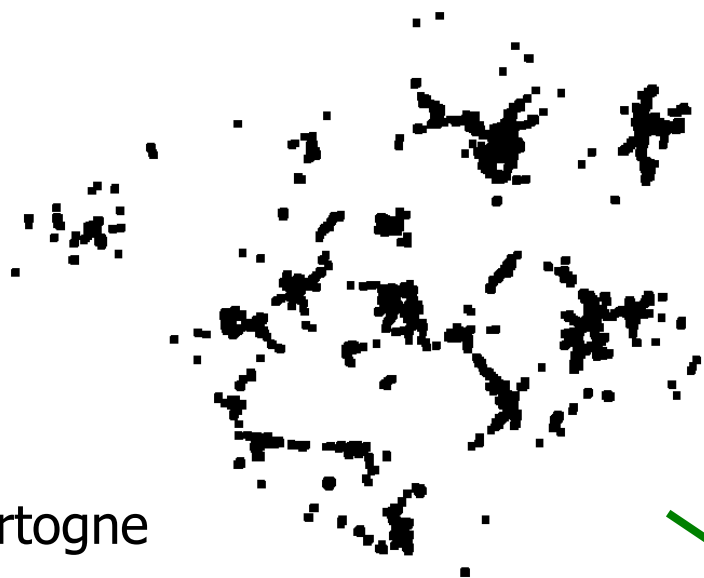
$n$	$D_{Surf-dil3}$	$D_{Bord-dil3}$
49	1,767	1,731
52	1,649	1,738
60	1,476	1,658

Tournai



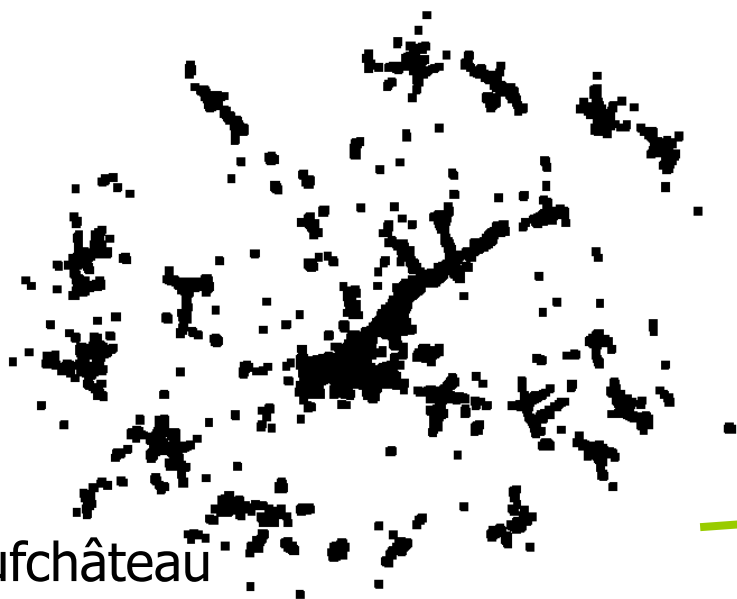
Biernacki - 5 classes

- 5 (46)
- 4 (60)
- 3 (55)
- 2 (52)
- 1 (49)

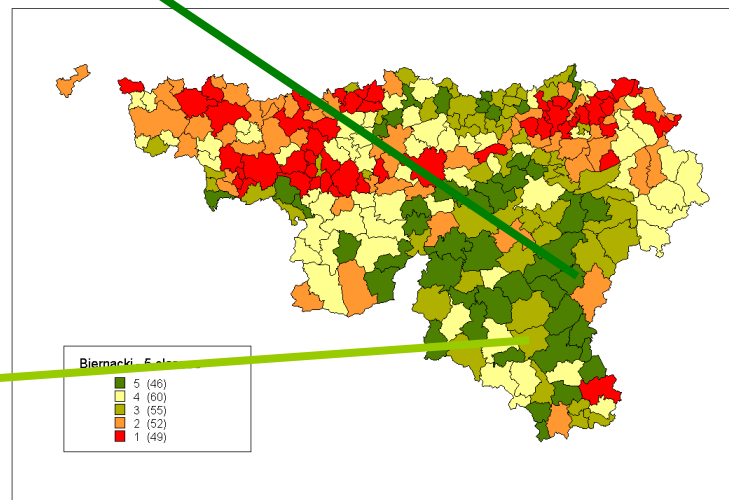


Bertogne

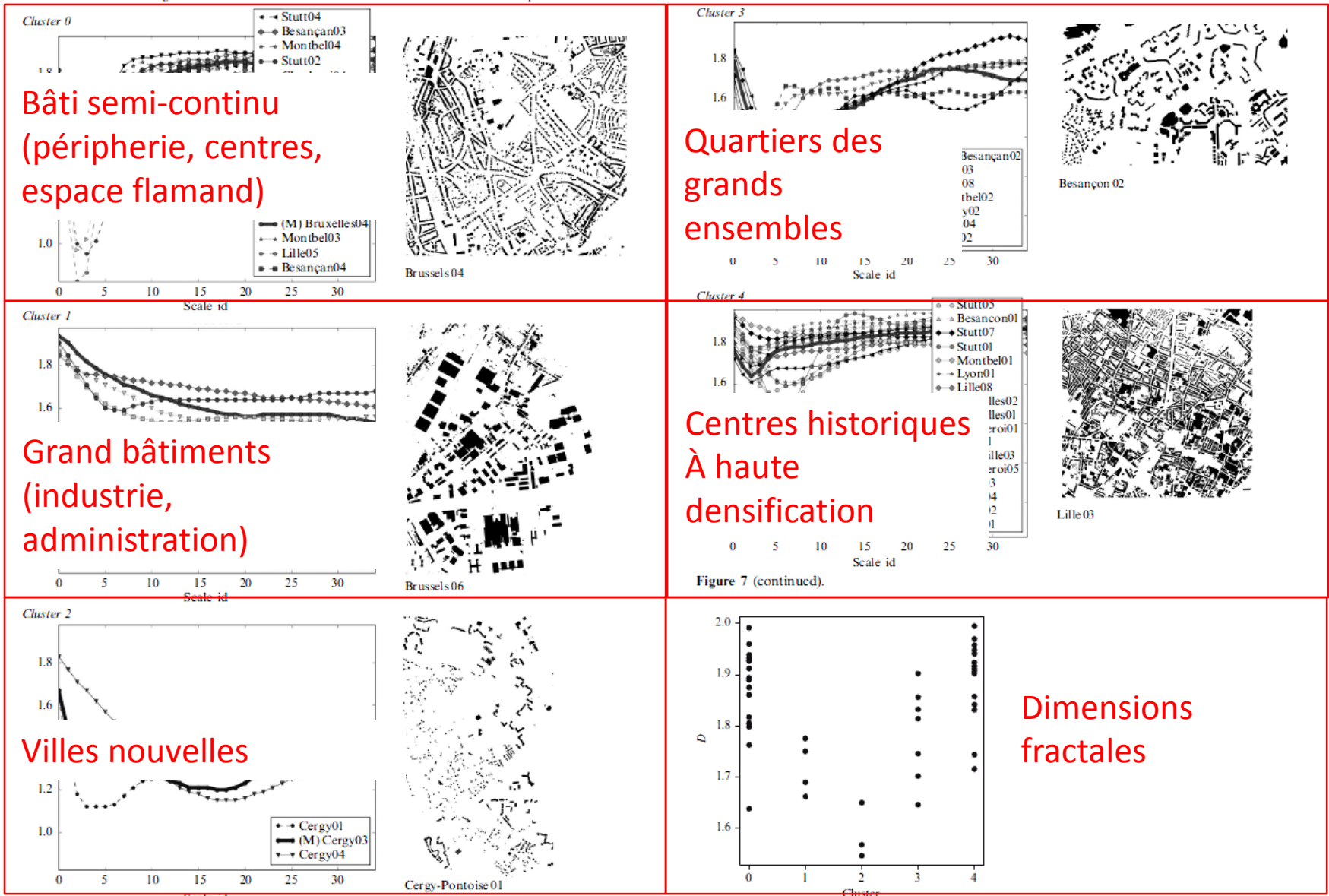
$n$	$D_{surf-dil3}$	$D_{bord-dil3}$
55	1,437	1,570
46	1,252	1,479



Neufchâteau



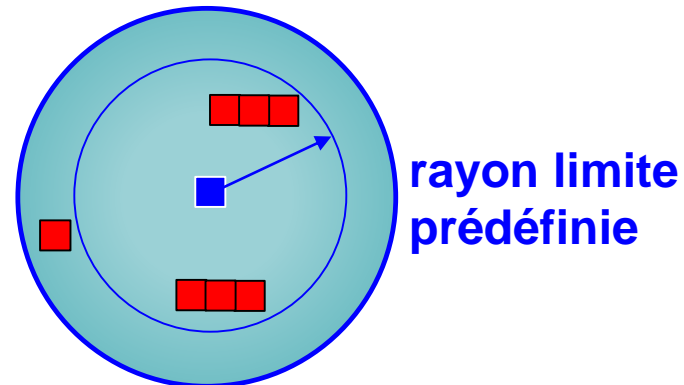
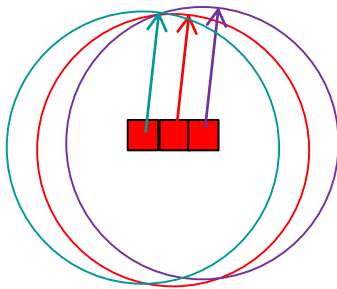
# Classification des courbes du comportement scalant par une métrique généralisée selon l'algorithme du « k-medoid »



# Organisation spatiale des tissus urbains à échelle fine

## Analyse multiradiale

- ❑ Analyse radiale à partir de chaque point occupé
- ❑ Détermination de la dimension dans rayon limite prédéfinie
- ❑ Classes de dimensions fractales
- ❑ Cartographie des classes
- ❑ Cartographie de la fourchette de l'intervalle de confiance et autres...



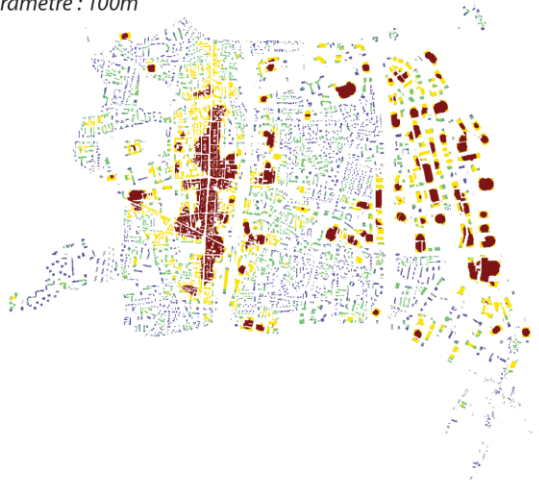
# Analyse multiradiale : commune de Villefranche-sur-Saône

(aire urbaine de Lyon)

Résolution raster : 4m

Méthode de discrétisation : Jenks

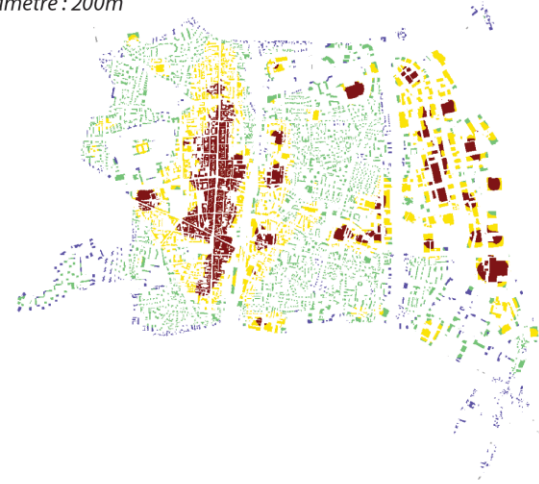
Paramètre : 100m



Dimension fractale

- de 0,00 à 1,24
- de 1,24 à 1,41
- de 1,41 à 1,56
- de 1,56 à 1,73
- de 1,73 à 2,00

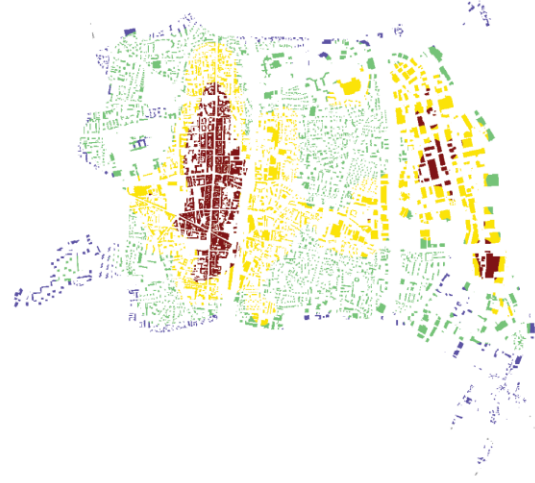
Paramètre : 200m



Dimension fractale

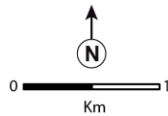
- de 0,62 à 0,98
- de 0,98 à 1,42
- de 1,42 à 1,57
- de 1,57 à 1,72
- de 1,72 à 1,92

Paramètre : 400m



Dimension fractale

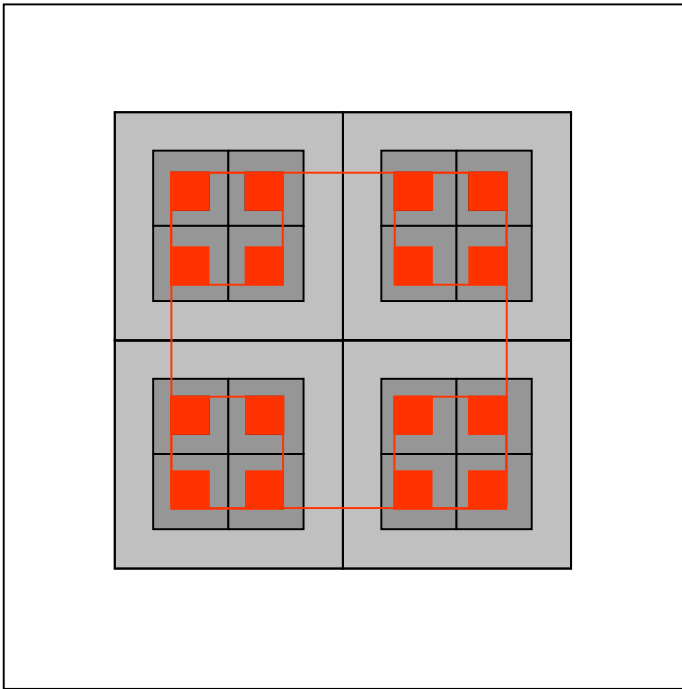
- de 0,79 à 1,10
- de 1,10 à 1,48
- de 1,48 à 1,62
- de 1,62 à 1,73
- de 1,73 à 1,86



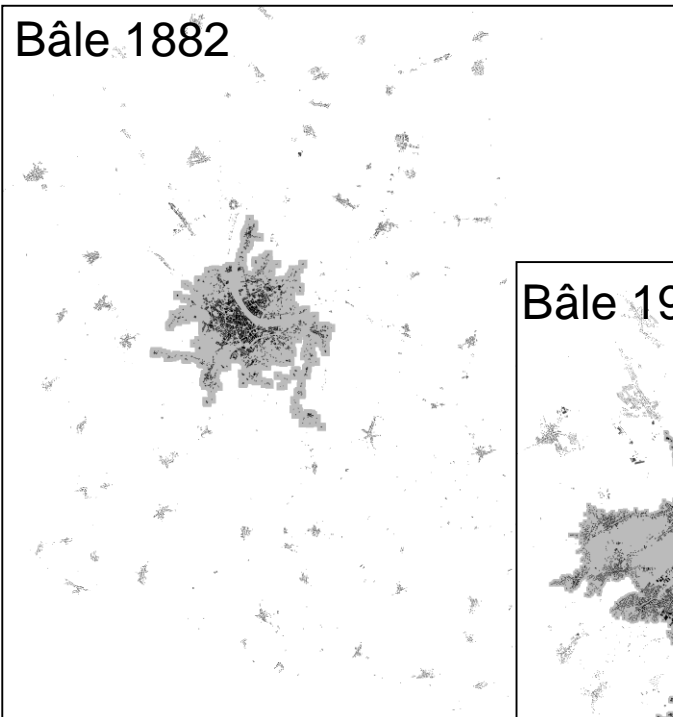
# Délimitation morphologique des agglomérations

**Idée de base : couverture d'une fractale par une autre dont la dimension est pareille**

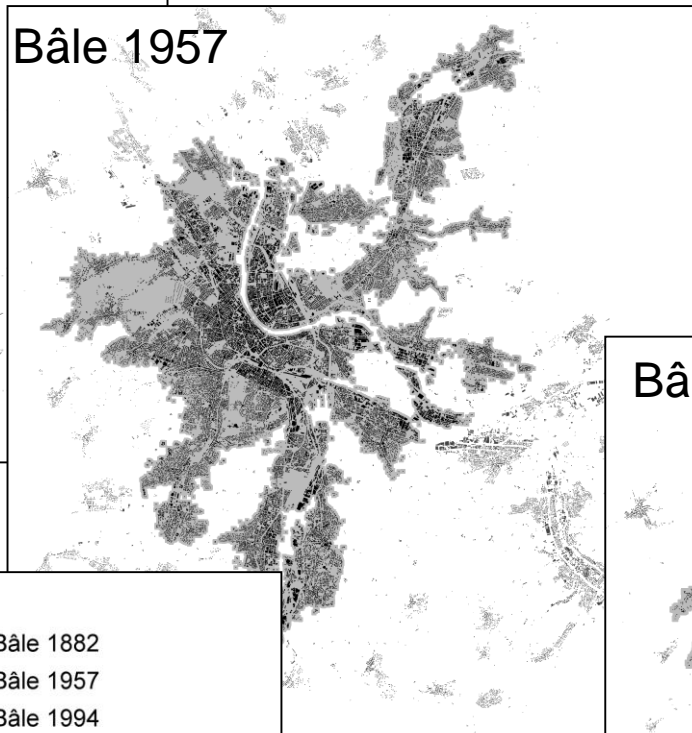
**Réalisation par dilatation progressive**



Bâle 1882

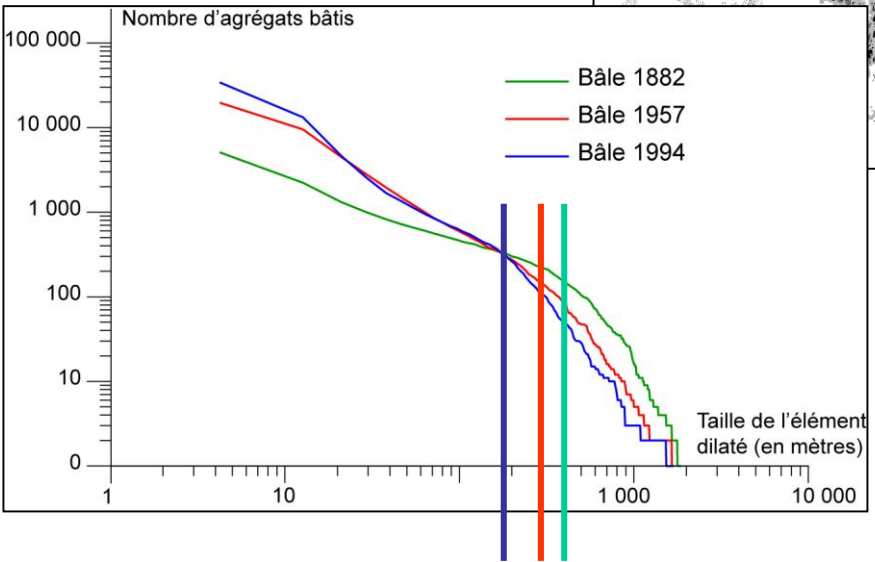
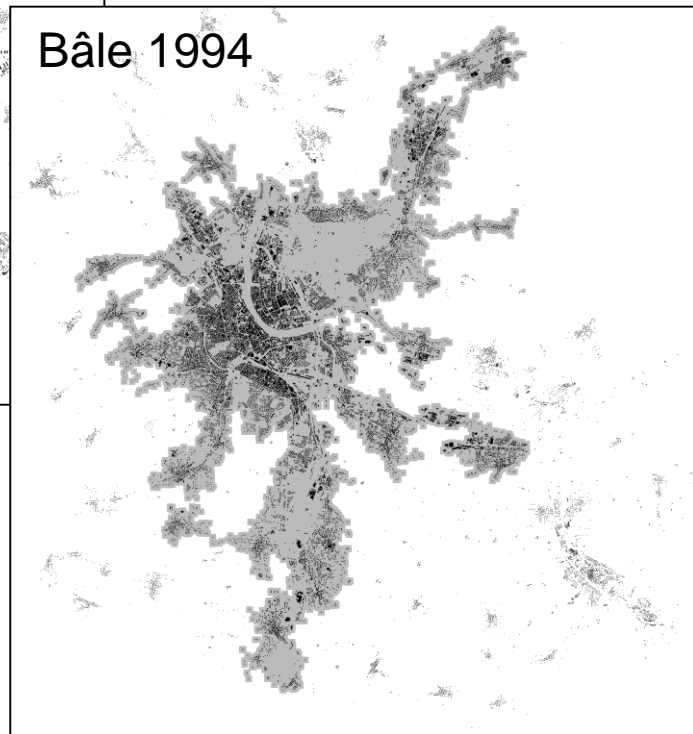


Bâle 1957



Logiciel morpholim  
Développement:  
Gilles Vuidel

Bâle 1994

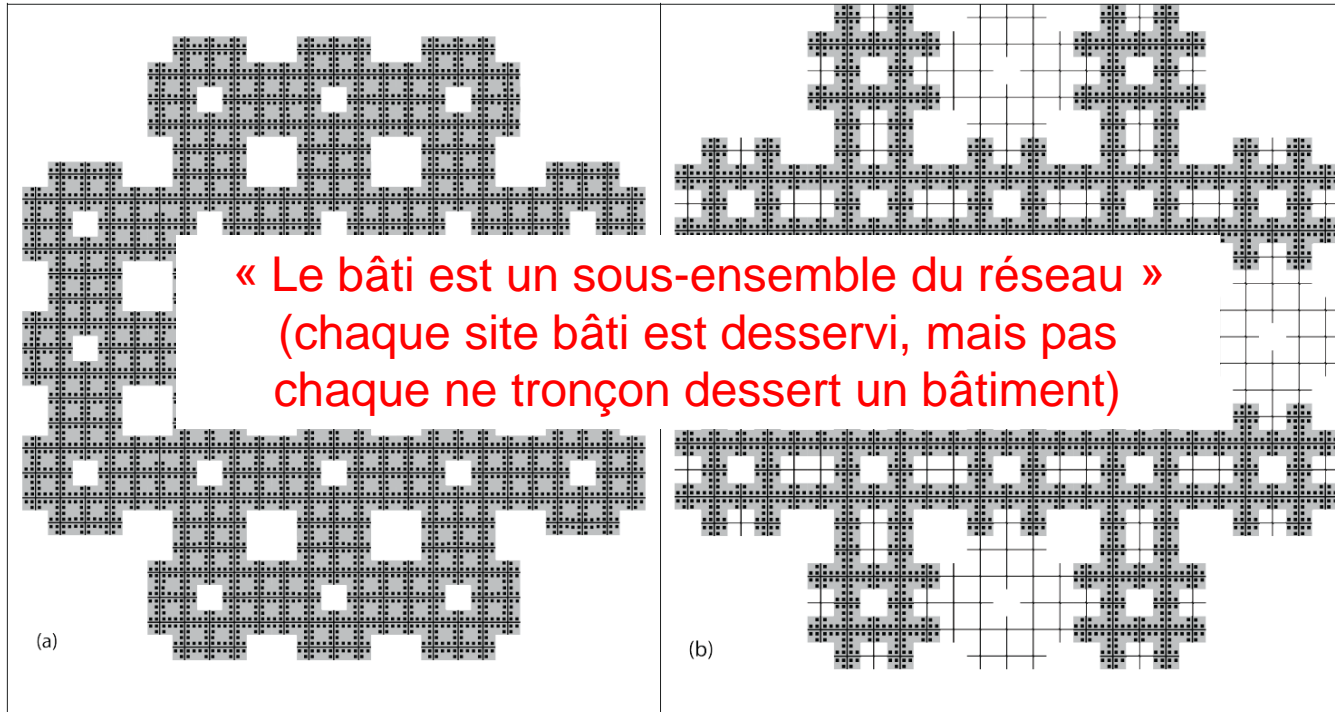




The image features several abstract, fractal-like shapes composed of small, colored dots. These shapes are scattered across the white background. One large, central shape is composed of many different colors including red, orange, yellow, green, blue, and purple. Other smaller shapes are also present, some in shades of purple, green, and blue. A prominent yellow rectangular box with a red border is superimposed over the center of the image, containing the text 'réseaux et surface bâtie' in bold red letters.

# réseaux et surface bâtie

# Bâti et réseau



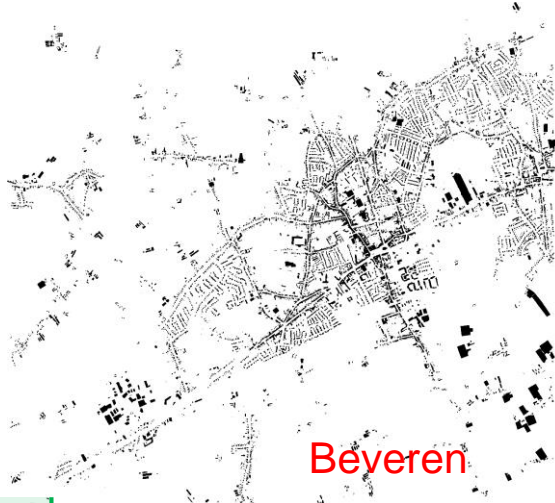
$$\begin{aligned} N_{Surf}(i) &= a_{Surf} i^{D_{Surf}} \\ N_{Netw}(i) &= a_{Netw} i^{D_{Netw}} \end{aligned} \Rightarrow N_{surf}(i) = a' N_{netw}(i) \frac{D_{surf}}{D_{netw}}$$

$\beta$

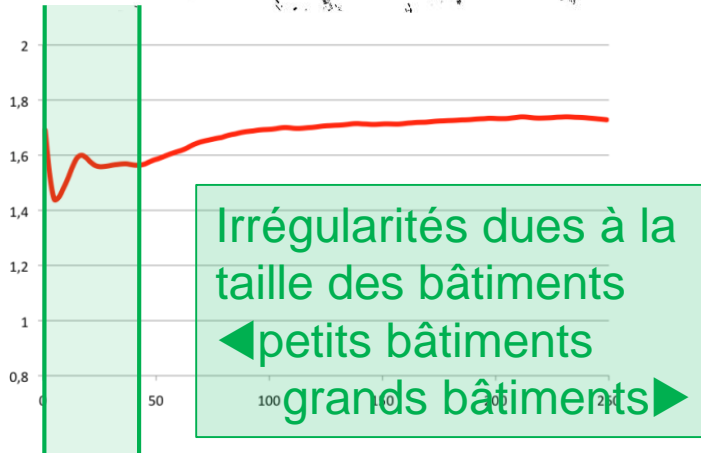
# Deux exemples de quartiers dont la densité du bâti est pareil

La surface bâtie ...

A

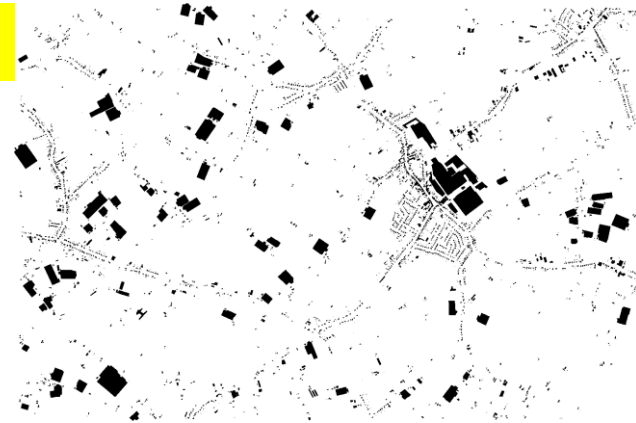


Beveren

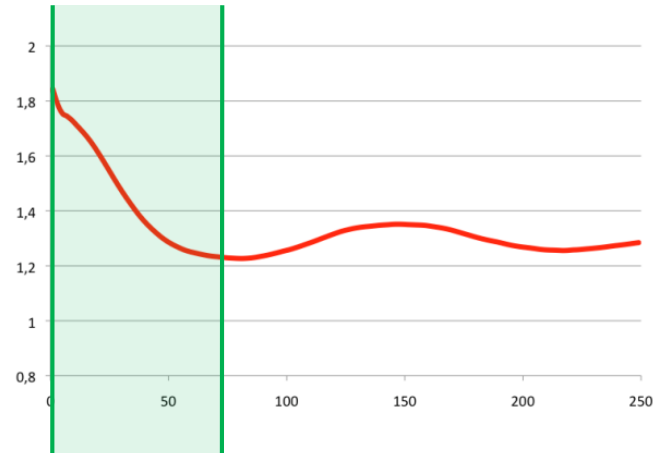


$$D_{Surf} = 1.722, R^2 = 0,999987$$

B



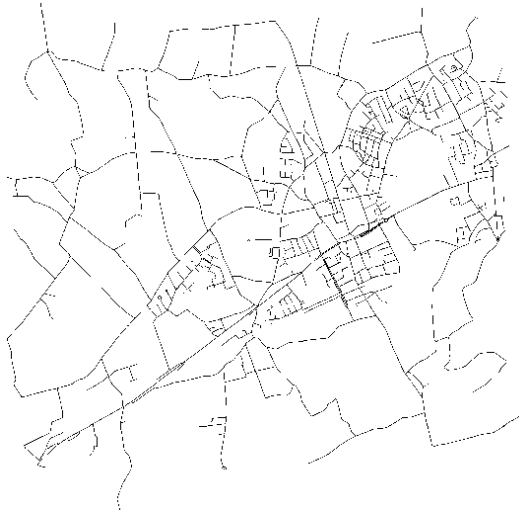
Koningshooikt



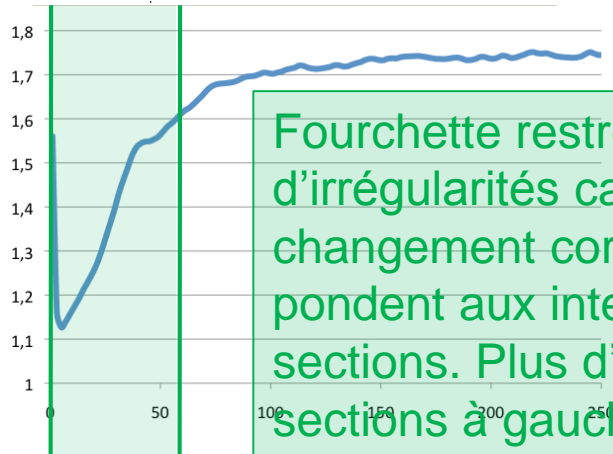
$$D_{Surf} = 1.287, R^2 = 0,999939$$

# ... et le réseau routier

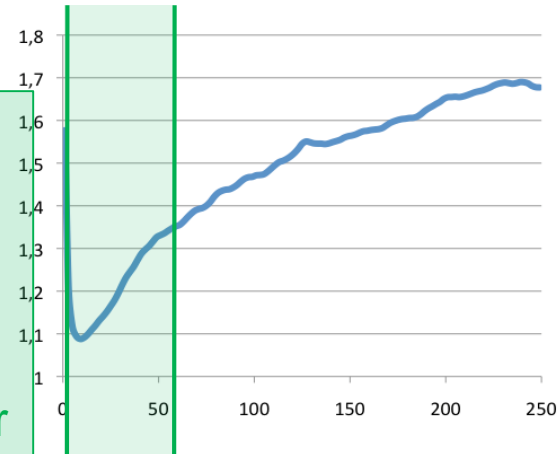
**A**



**B**



Fourchette restreinte d'irrégularités car les changements correspondent aux intersections. Plus d'intersections à gauche pour les petites distances



$$D_{Neiw} = 1.750, R^2 = 0.999997$$

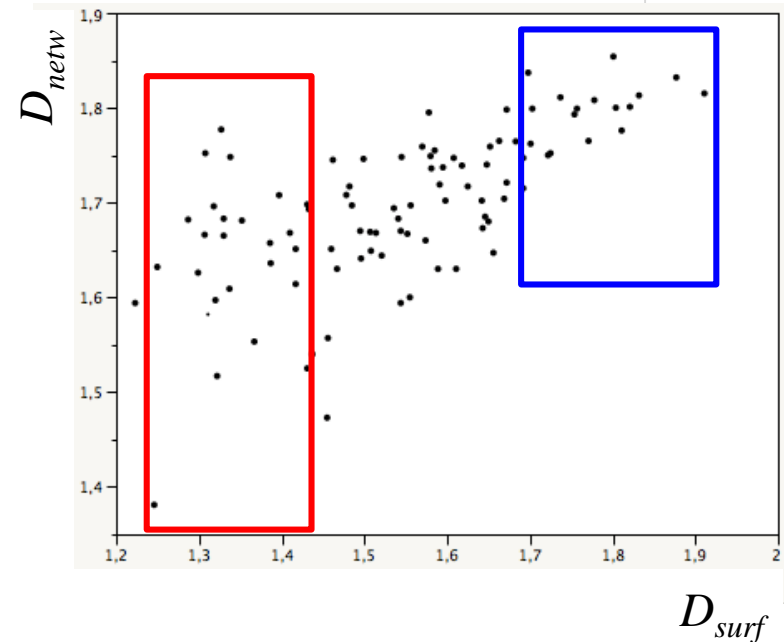
$$D_{Neiw} = 1.682, R^2 = 0.999864$$

# Comparaison tissus bâtis et réseaux

## Corrélation entre surface bâties et réseaux

dimensions basses  $\Rightarrow$  périurbain:  
Grande diversité des tissus urbains,  
les réseaux peuvent être développés  
et le bâti peut être faible (distances  
irrégulières si moins planifié)

Zones fortement urbanisées : plus  
forte cohérence entre réseaux et bâti



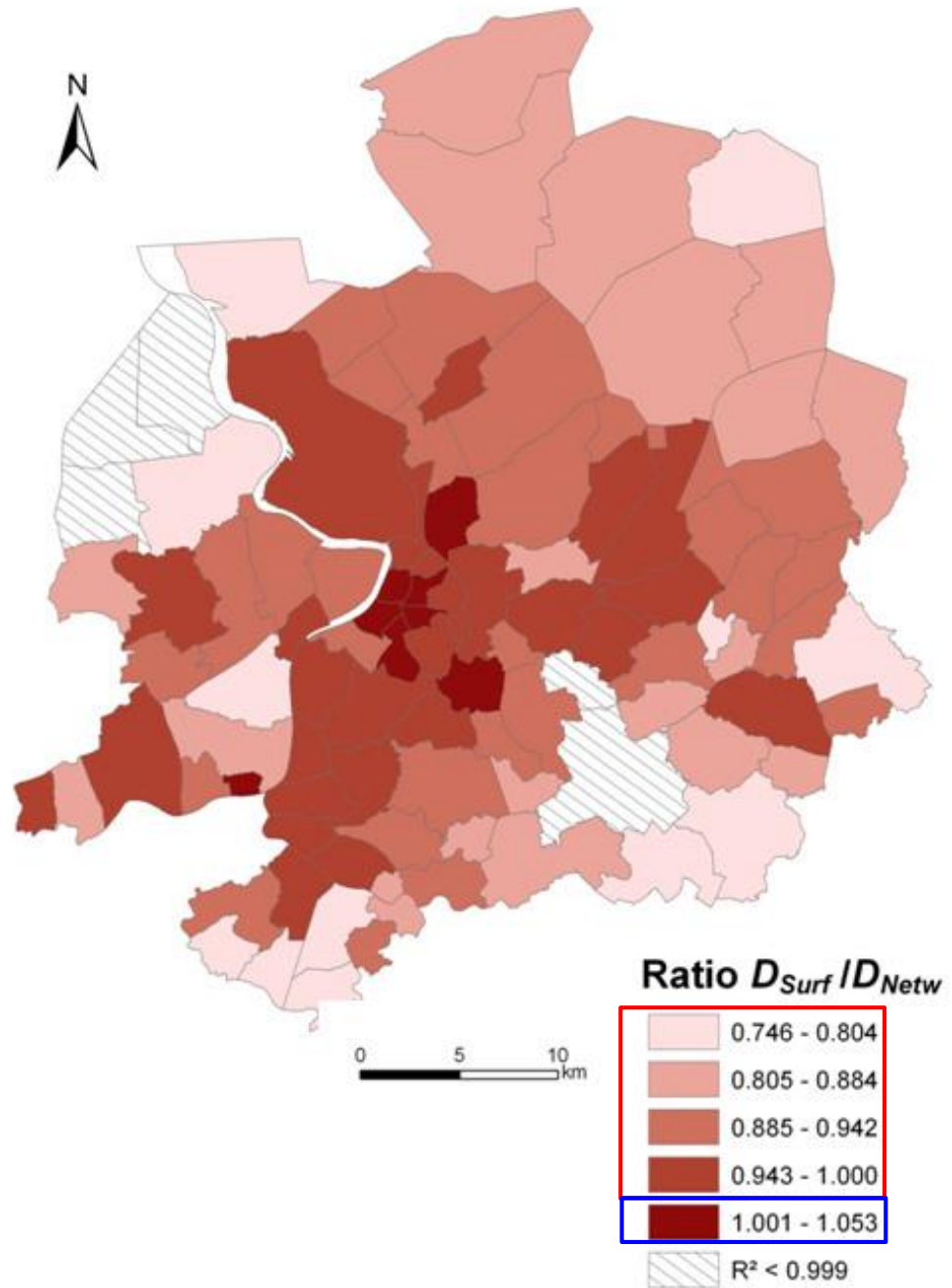
## Cartographie de $\beta$

$$\beta \equiv \frac{D_{Surf}}{D_{Netw}}$$

$\beta < 1$  : réseau plus uniforme que la surface bâtie

$\beta = 1$  : réseau et surface bâtie suivent la même logique de remplissage de l'espace

$\beta > 1$  : réseau moins uniforme que surface bâtie



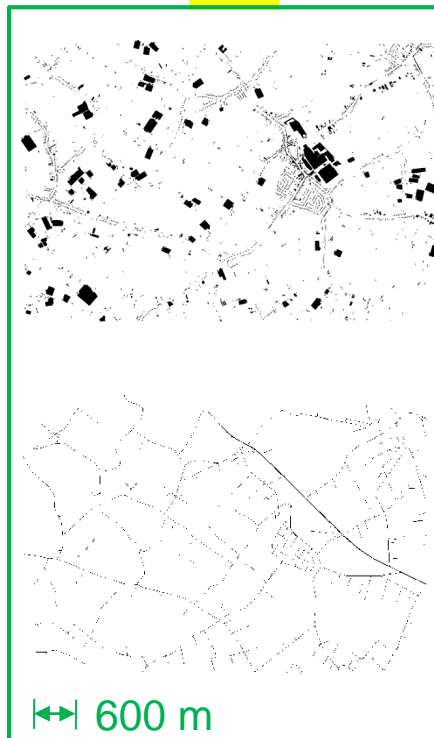
# L'analyse de concordance

Mise en relation des comportements scalants

A

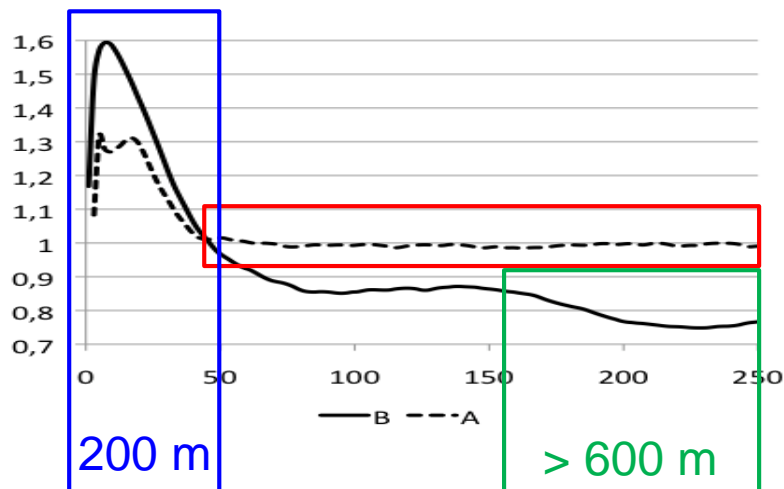


B



concordance importante entre surface bâtie et réseau

Réseau assez « hypertrophié »  
faible corrélation entre surface bâtie et réseau



## II. Un concept d'aménagement fractal pour un développement urbain durable



### Coopérations :

- Cécile Tannier
- Hélène Houot
- Claudia Czerkauer-Yamu
- Olivier Bonin

### Conceptions informatique :

- Gilles Vuidel





# Les tissus urbain : entre émergence et auto-organisation

# Quelques réalités de l'étalement urbain

Critères du choix résidentiel :

- vie à la campagne*
- prix foncier*
- maison individuelle*

Politiques publiques :

- bons aménagements routiers*
- installation de zones commerciales*
- construction de lotissements*

conséquences néfastes

- utilisation VP*
- allongement des déplacements*
- manques de services/commerces*
- fragilisation des espaces naturels ?*

# la demande sociale

*quel type  
d'environnement  
résidentiel  
préférez-vous?*



56%



20%



11%



5%



3%



1%



1%

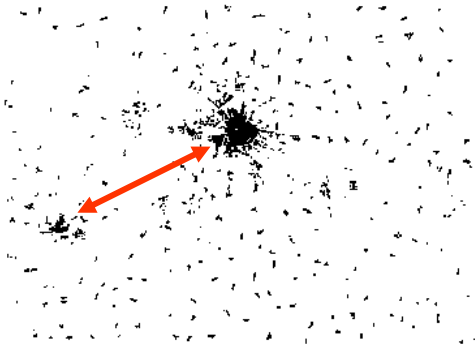
# Croissance urbaine et transports

la prédominance des réseaux de transport en commun favorise la fractalité...

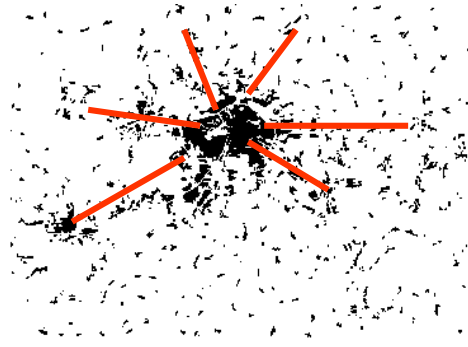
La croissance tentaculaire de Berlin le long des axes

RER

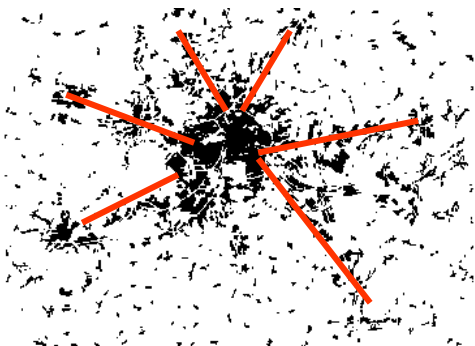
1875



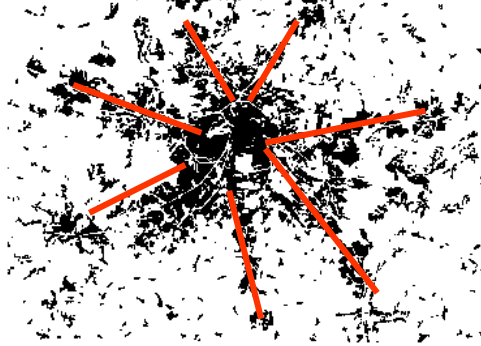
1910



1920

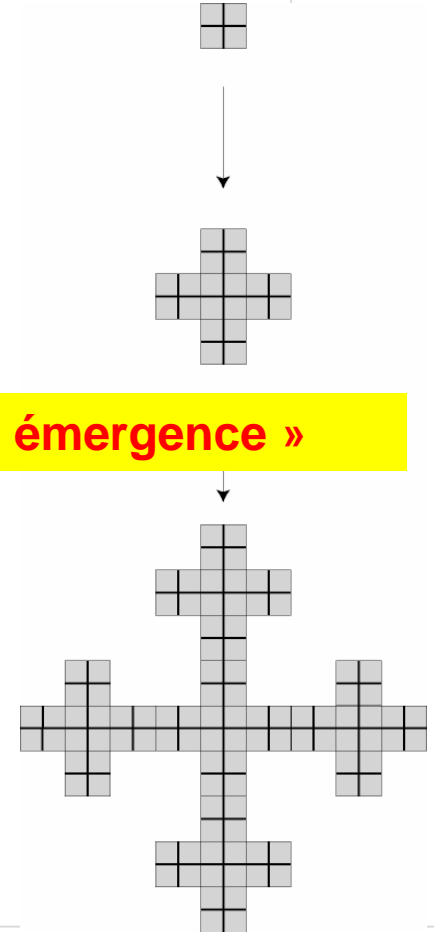


1945



« planification et émergence »

$$D = 1,81$$



...tandis que la motorisation tend vers une répartition de la surface bâtie plus uniforme

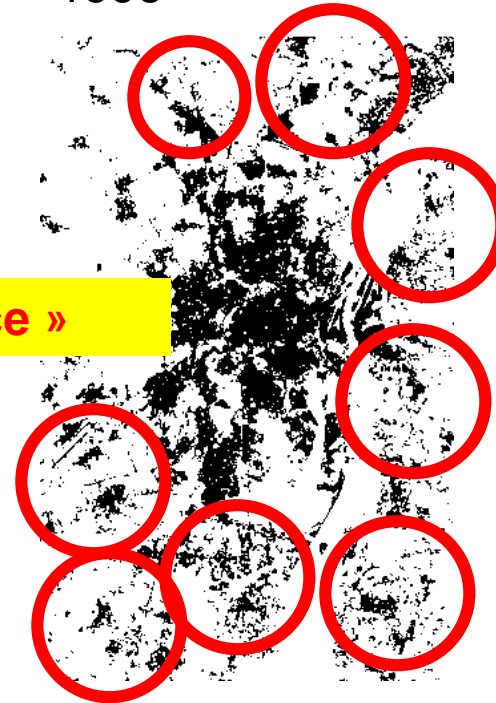
Un exemple :      Strasbourg

1986



« planification et émergence »

1996

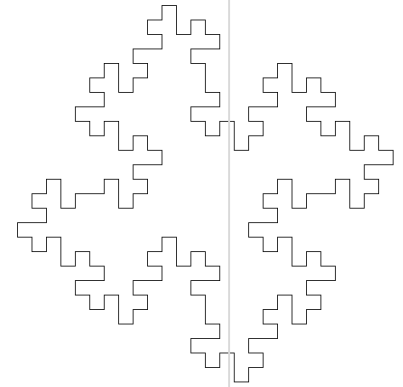
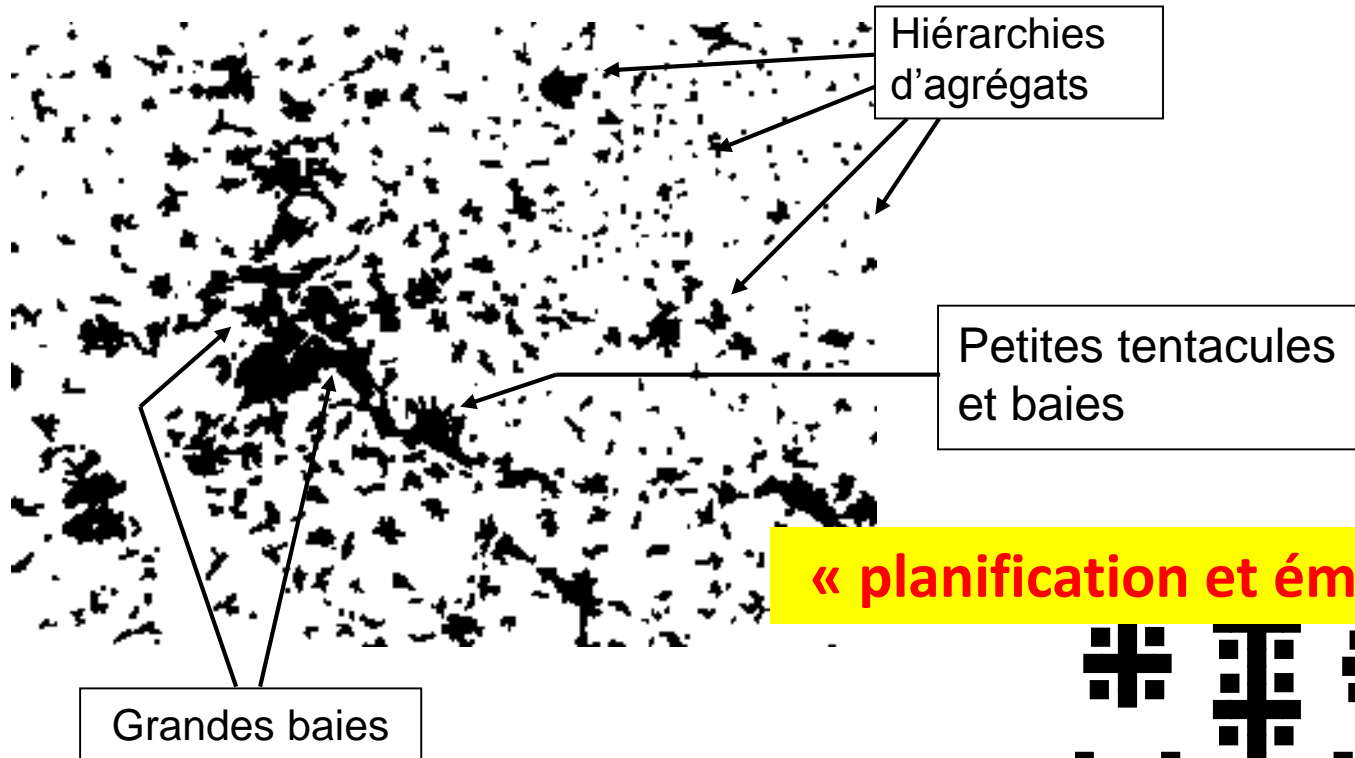


dimension  
fractale

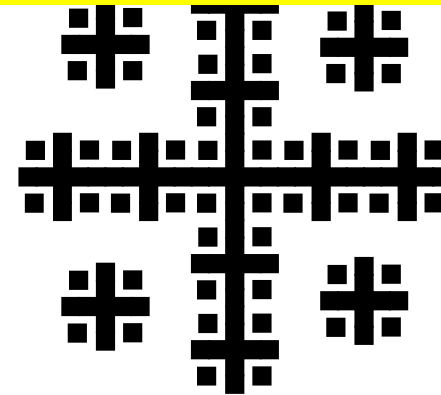
$$D_{surf} = 1,80$$

$$D_{surf} = 1,85$$

# Tissus et hiérarchie cristallérienne émergente



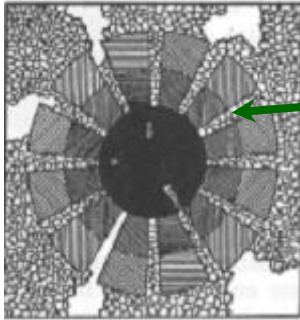
« planification et émergence »



*L'agglomération de  
Stuttgart et deux modèles  
fractals*

The background of the slide features several abstract, colorful, fractal-like shapes. These shapes are composed of many small, interconnected points or particles, creating a complex, organic, and somewhat crystalline appearance. The colors used include shades of purple, pink, green, yellow, orange, red, blue, and grey. The shapes are scattered across the slide, with a larger, more prominent one at the bottom center and several smaller ones at the top and sides.

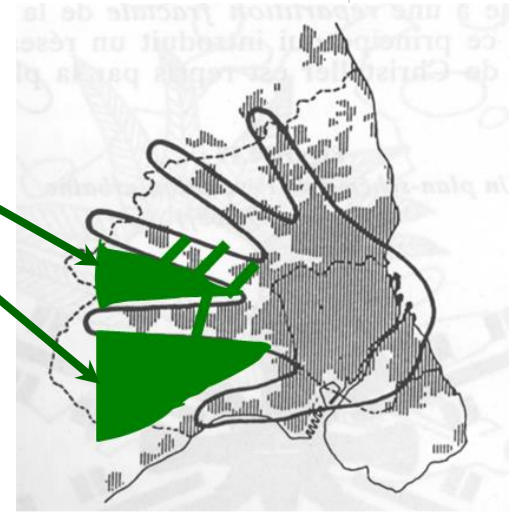
# Planifier la complexité



Plan Berlin 1910

*Eberstadt-Möhring-Petersen*

*pénétrantes  
vertes*



Le doigt de gants de  
Copenhague

***encore très mono-échelle***

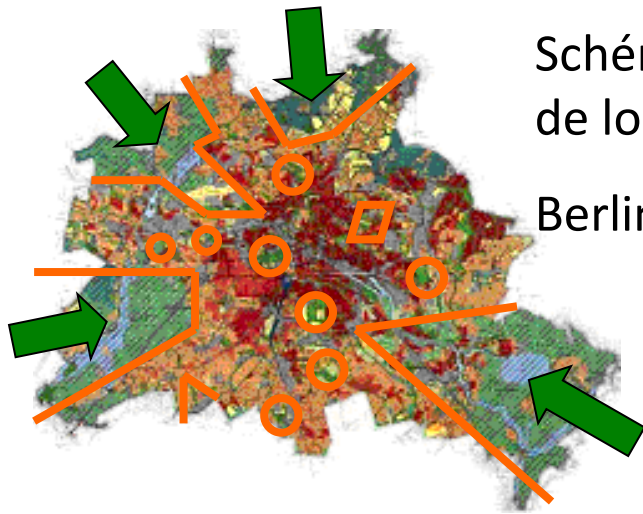


Schéma des zones  
de loisir

Berlin-Brandebourg

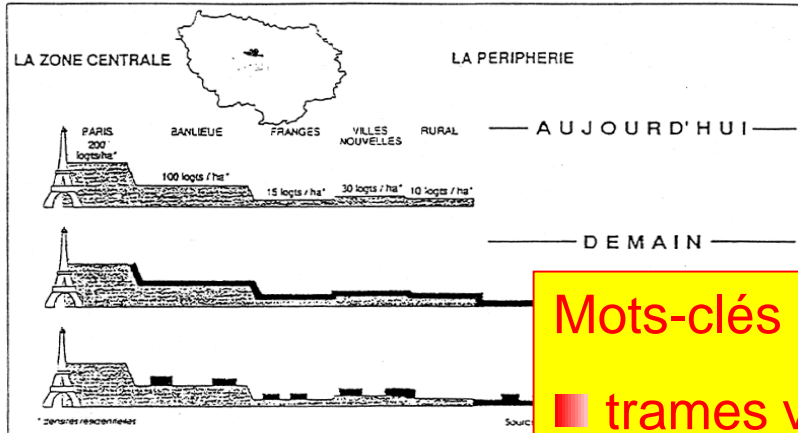
Wohnquartiere nach Dringlichkeitsstufen zur Verbesserung der Freiraumversorgung	
■	Stufe I
■	Stufe II
■	Stufe III
■	Stufe IV
■	Flächen mit übergeordneten Einrichtungen für die intensive Erholungsnutzung
■	Sonstige Flächen außerhalb von Wohnquartieren
■	Flächen mit zentralen Nutzungen
□	Anforderung an Wohnquartiere
■	Erholungswald
■	Feldflur / Wiese
■	Grünfläche / Parkanlage
■	Verbesserung Zugänglichkeit
■	Hexanlage und Verbesserung eines Grünzuges
■	Natur-Park
■	Kleingarten
▲	Entstehung von Entwicklungskonzepten
■	Friedhof
■	Sonstige Freifläche
■	Gartenbau / Baumschule
■	Gewässer
■	Naherholungsgebiet von gesamtstädtischer Bedeutung/Regionalpark
■	Entw.schwerpunkt Erholung
■	Große zusammenhängende Freiräume auf nicht oder nur eingeschränkt öffentlich nutzbaren Flächen



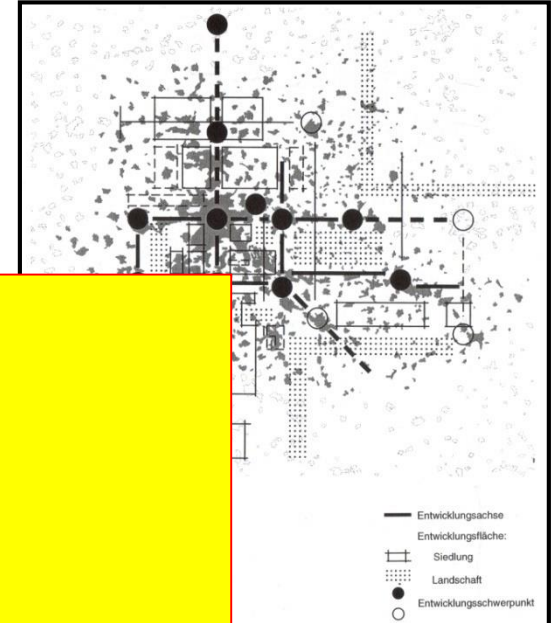
Schöfl



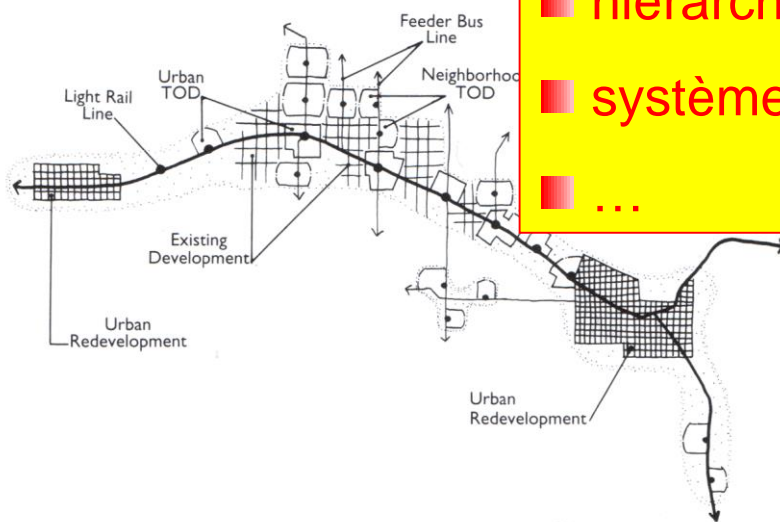
# Divers concepts d'aménagement à l'échelle de zones métropolitaines



*schéma selon V. Fouché  
région parisienne*



*agement de*



*le schéma TOD*

Mots-clés :

■ trames vertes

■ polycentrisme

■ hiérarchie urbaine

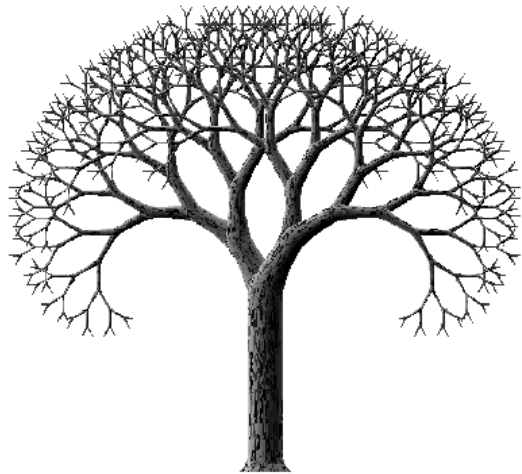
■ systèmes TCSP, tram-train

■ ....

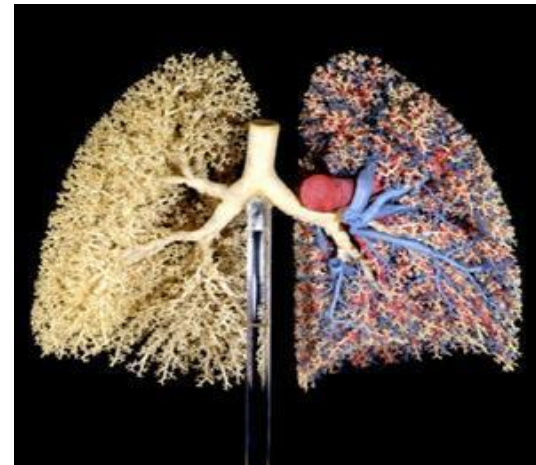
The background of the slide features several fractal-like structures. These are composed of numerous small, interconnected points or particles, forming complex, branching, and self-similar patterns. The colors of these structures vary, including shades of purple, green, yellow, orange, red, pink, blue, and grey. A central yellow rectangular box with a black border contains the title text.

# fractalité et optimisation

## Les fractales – une solution optimisant en biologie

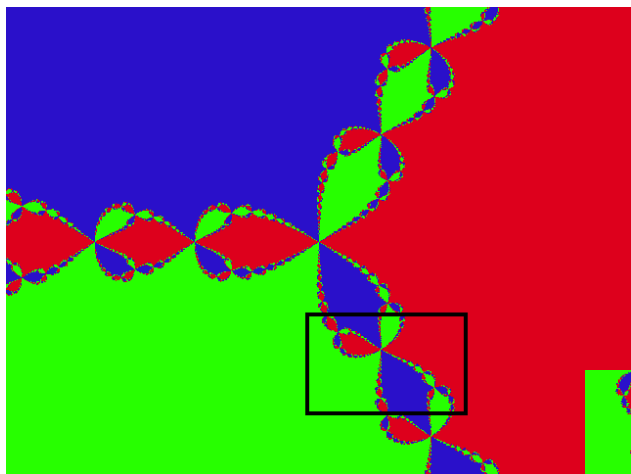


<https://nirare.wordpress.com/2011/02/20/les-fractales-dans-les-poumons/>

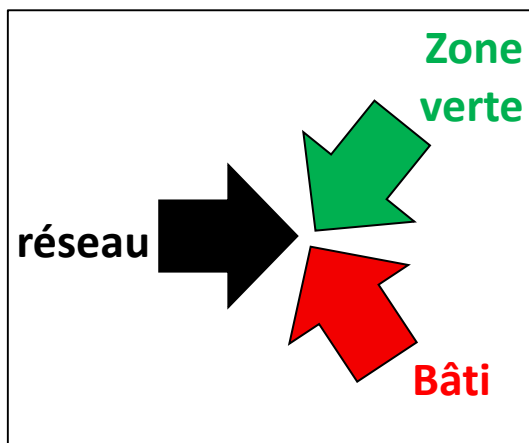
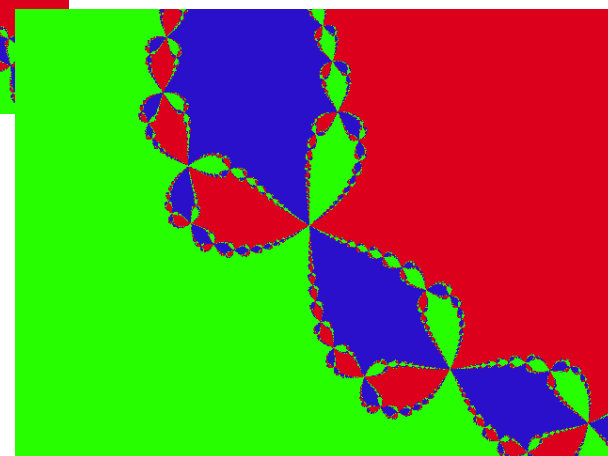
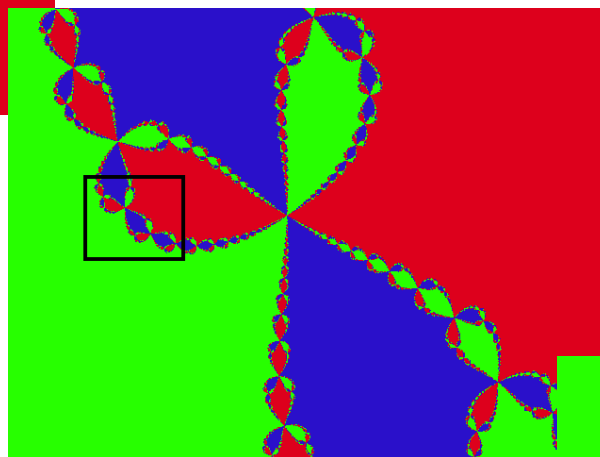


<https://will42miles.wordpress.com/mathematiques-2/97-2/>

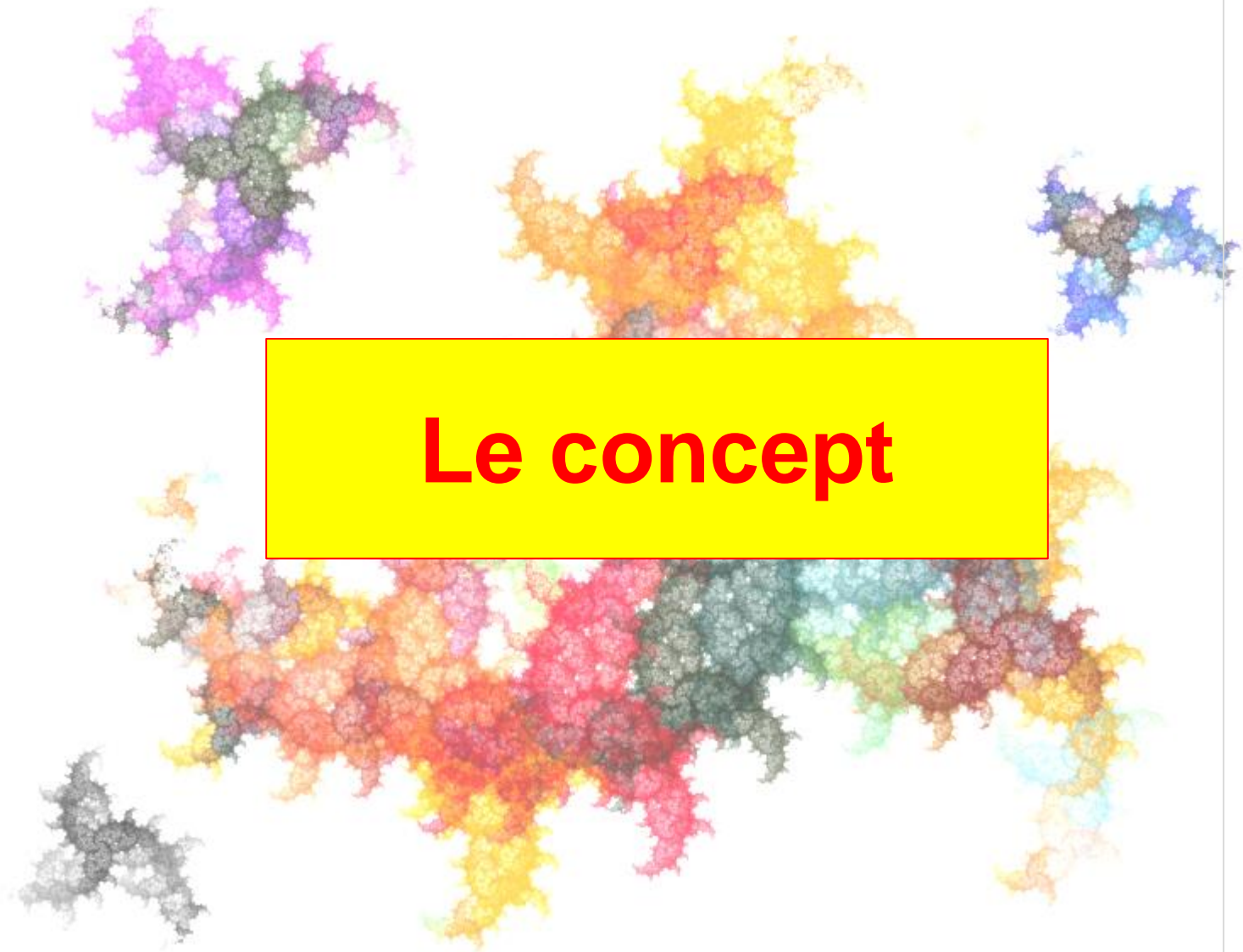
## Fractale de Newton



trois ensembles (zones en couleur) qui partagent tous les trois la même frontière.

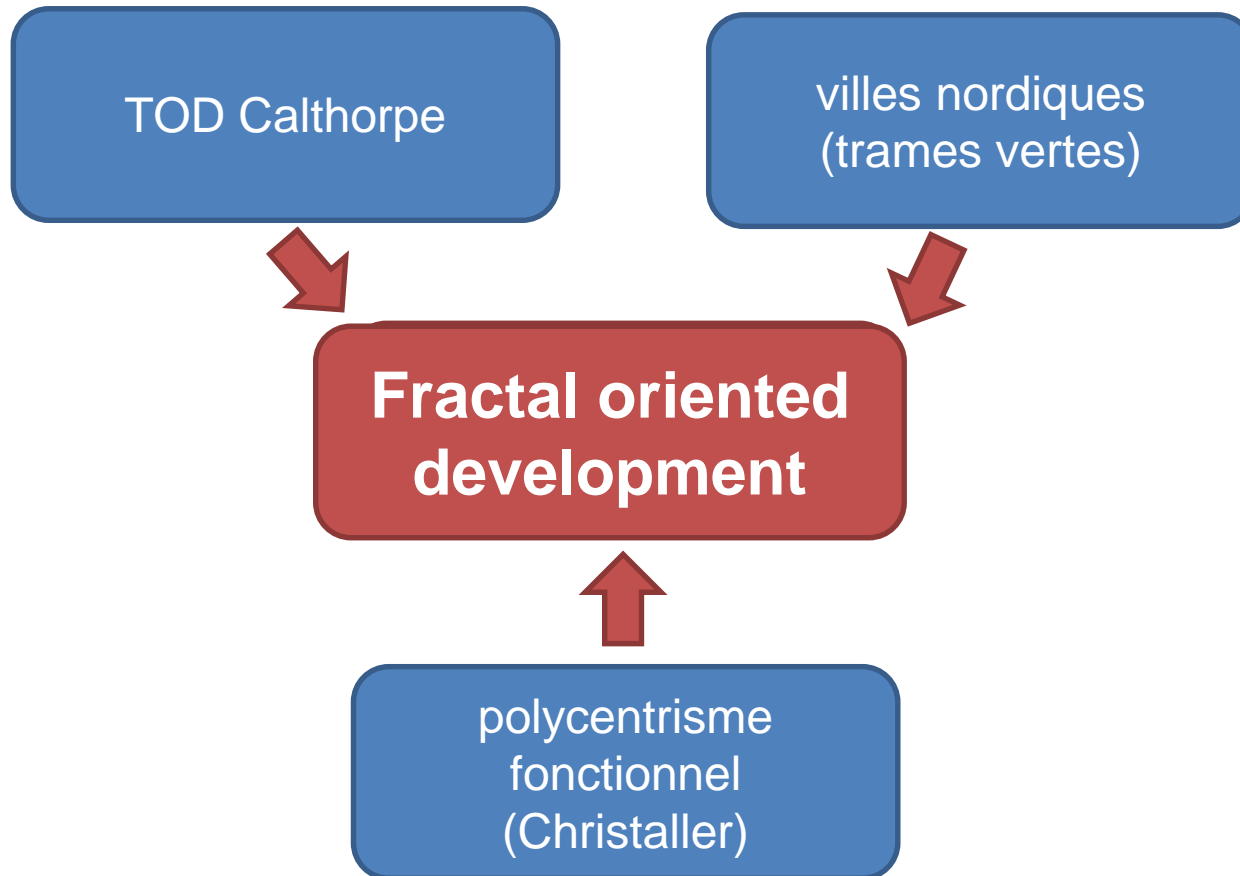


**Une limite fractale permet d'associer trois types d'utilisation du sol à chaque endroit**



**Le concept**

# Les source d'inspiration



## Nous introduisons un système spatial qui ...

- ❑ respecte les besoins et aspirations des ménages par rapports à l'accès aux aménités urbaines et vertes
  - ▶ en articulant les zones urbanisées et le paysage ouvert à travers les échelles et créant une hiérarchie de lieux centraux
- ❑ évite la fragmentation des espaces bâtis et verts
  - ▶ en articulant des zones contigües bâties et non-bâties
- ❑ réduit les distances à parcourir pour accéder aux aménités
  - ▶ en urbanisant le long d'un système emboités d'axes TC
- ❑ réduit le risque d'émergence d'îlots de chaleur
  - ▶ en créant le système de trames vertes connexes emboités
- ❑ évite la monotonie des tissus urbains
  - ▶ en créant un mélange emboité de zones denses et non-denses

## Niveaux de service

### ***Niveau 1 (recours quotidien ou pluri-hebdomadaire) :***

boulangerie, tabac/journaux, écoles, boucherie/charcuterie/traiteur, commerce alimentaire

### ***Niveau 2 (recours hebdomadaire OU fréquentation contrainte récurrente) :***

réparation automobile, café, hypermarché (2 niveaux de fréquence de recours), épicerie/supérette, coiffeur, poste, pharmacie, médecin généraliste

### ***Niveau 3 (recours mensuel) :***

petites, moyennes et grandes surfaces spécialisées, banques-assurances, restaurant, cinéma, théâtre ...

### ***Niveau 4 (recours plus rare) :***

préfecture, impôts, hôpital, médecins spécialistes, laboratoires d'analyse médicale, hall d'exposition, magasins spécialisés, services et administrations de fréquentation rare,

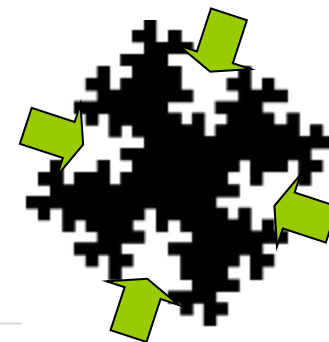
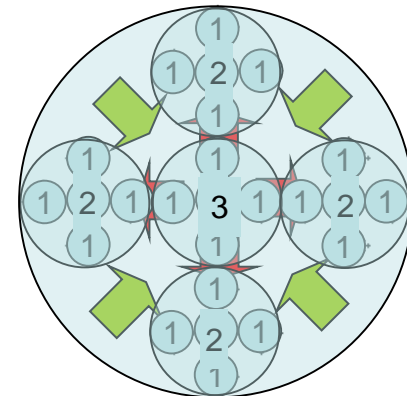


# Aménager selon une logique fractale

Deux possibilités en 2D :

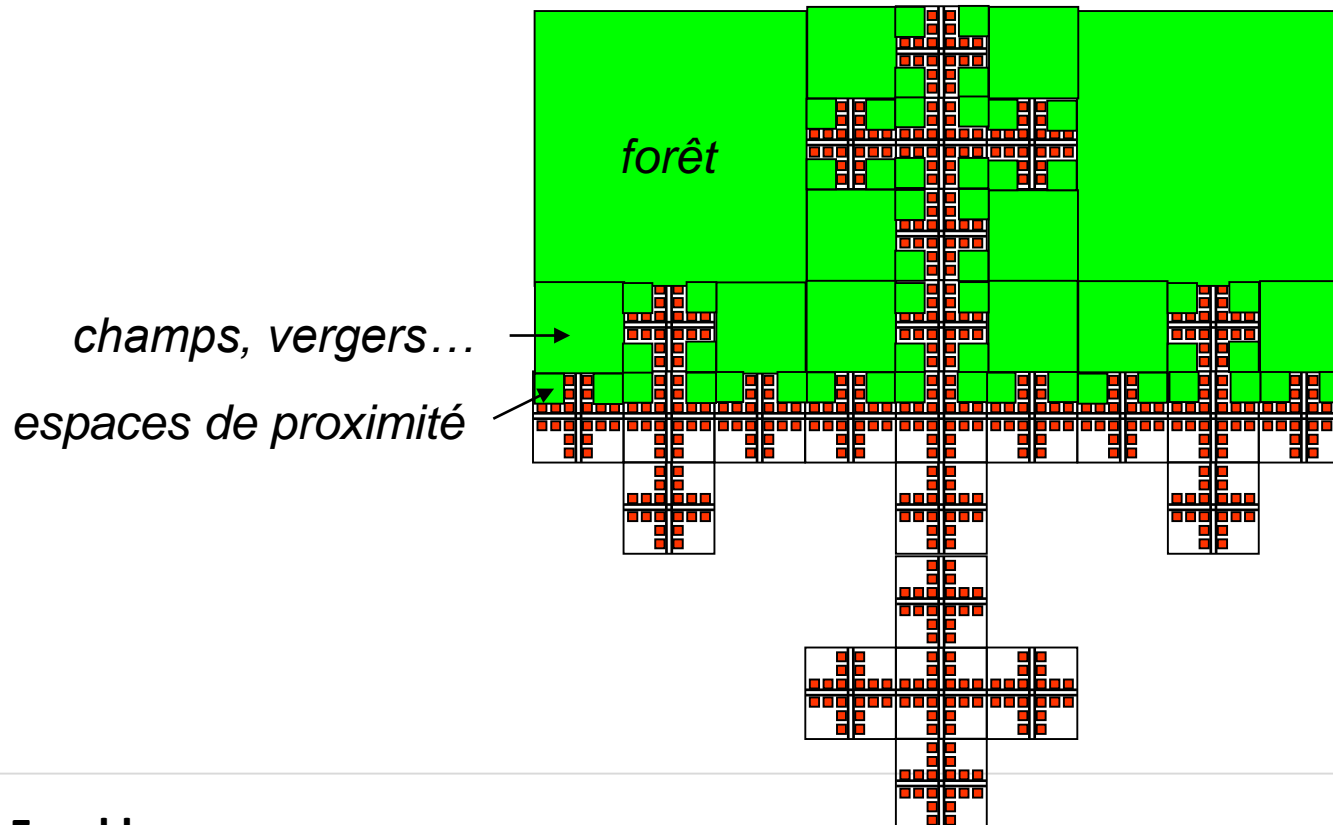
## 1. Logique **monofractale** → logique d'occupation du sol → **MUP-city**

- **logique radioconcentrique**  
(nœuds = localisation services)
- **système hiérarchique des services**  
Aires de chalandise selon fréquence de recours
- **maitriser l'accessibilité**
- **éviter le morcellement des espaces non-bâti**
- **articuler paysage ouvert et bâti**



# Le tapis de Sierpinski : réseau, bâti et paysage ouvert

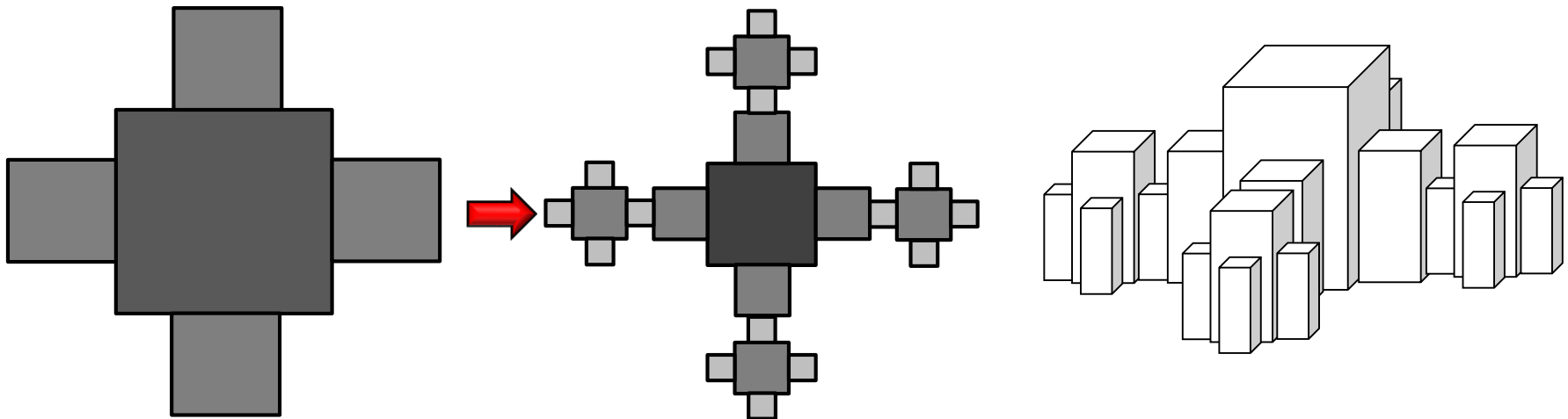
- Le bâti est aussi articulé avec le paysage ouvert
- Le paysage ouvert reste contigu (pas de morcellement) système emboîté de trames vertes
- Un espace ouvert varié (tailles différentes, connecté)



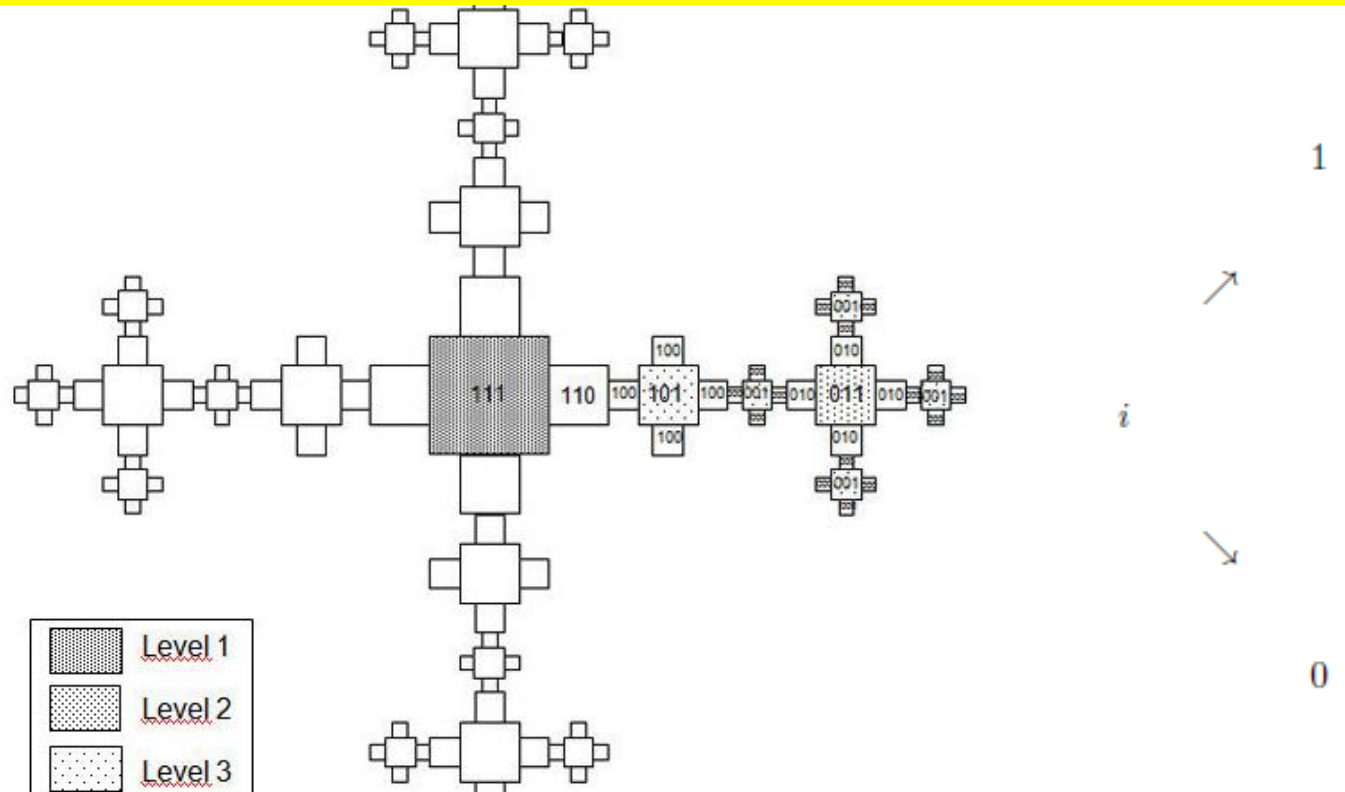
## 2. Logique multifractale → logique de zonage → **fractalopolis**

**Approche supplémentaire : 3D**

Pondérations des éléments → logique emboîtée d'intensité d'occupation du sol → **fractalopolis**



sans changer le modèle spatial nous introduisons un codage fonctionnel qui permet de distinguer zones selon leur fonction cristallérienne



nous obtenons ainsi une relation hiérarchique qui correspond, par sa logique multiplicative à une loi fractale « normale », donc hyperbolique (Pareto)

## **Le modèle 3D – un modèle multifractal élargi**

il s'agit d'un élargissement en 3D de la logique multifractale

- Cibles de nombre de bâtiments collectifs et individuels pour chaque niveau de la hiérarchie**
- Diagnostic du déficit ou de l'excédent constaté sur le terrain par rapport à la cible**
- Prise en compte du « rural » hors système principal**

**H1** ► nous tenons compte de la part de population habitant dans l'arrière pays rural - cette part peut change au fil des étapes d'itération

**Première étape :**

$\alpha$  = part de la population urbaine

$$p = \boxed{\alpha p} + p_{rur(1)}$$

pop. urb.
jaune

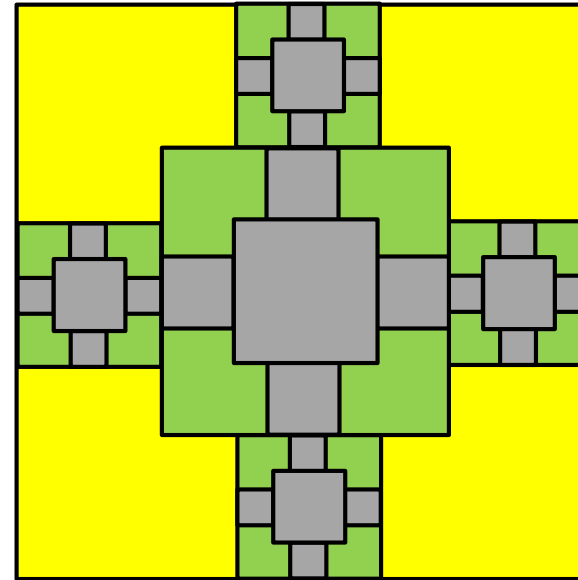
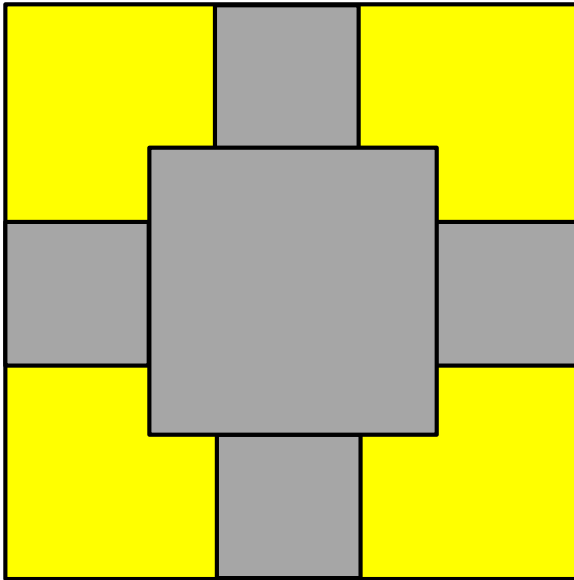
**Deuxième étape :**

$\beta$  = part de la population urbaine dans les parties « découpées »

$$p = \alpha\beta \cdot p + \alpha(1 - \beta) \cdot p + p_{rur(1)}$$

$$= \boxed{\alpha\beta \cdot p} + \boxed{p_{rur(2)}} + \boxed{p_{rur(1)}}$$

reste urbain
vert
jaune



**H2** ► les parts affectées aux centre et aux villes périphériques peuvent être modifiées à chaque étape

**première étape :**

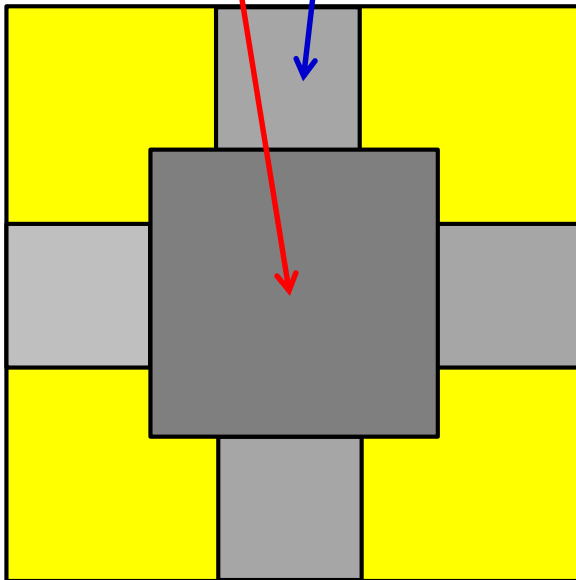
répartition centre principal  
et centres secondaires

$$1 = a_1 + 4a_0$$

$$p_{urb(1)} = \alpha(a_1 + 4a_0)p$$

ville centre

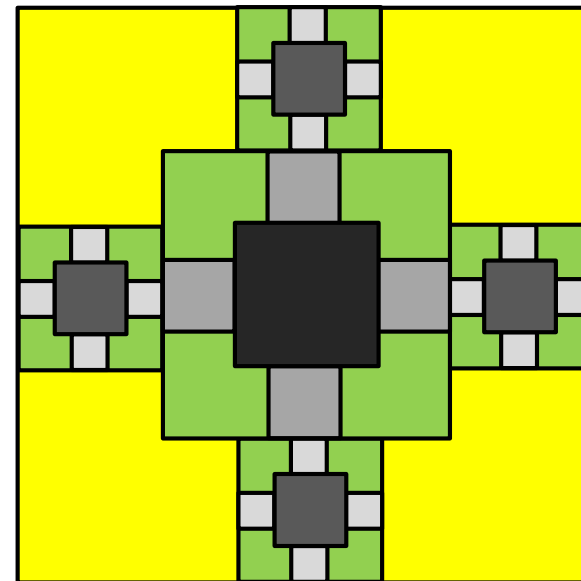
ville secondaire



**deuxième étape :**

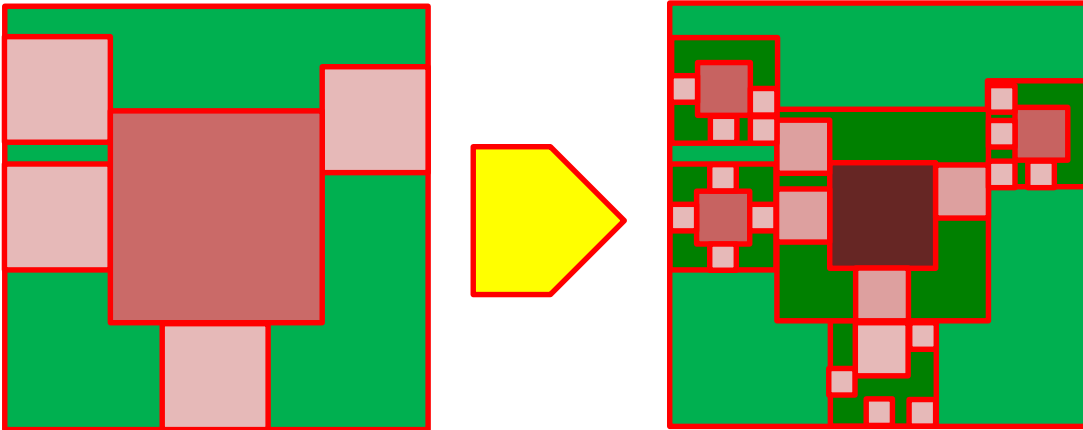
répartition centre principal,  
centres secondaires et tertiaires

même logique  
facteurs  $b_1, b_0$

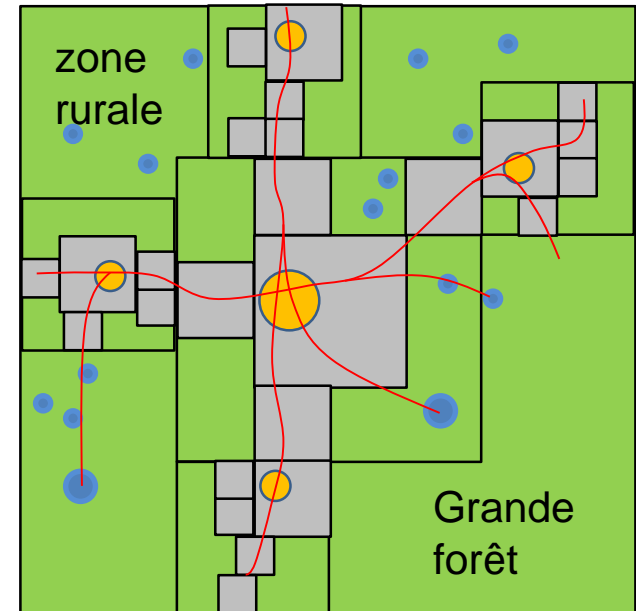


## Utilisation de Fractalopolis

- ❑ Permet de mettre au point interactivement un PLU
- ❑ Fournit des évaluations en temps réel, en fonction de cibles théoriques à atteindre
- ❑ Choix du nombre de niveaux, et de l'imbrication



**Chaque pattern théorique peut être reconfiguré spatialement en fonction des contraintes géographiques**



- Centres principaux et secondaires
- Villes hors du système métropolitain



# Règles d'évaluations intégrées dans le simulateur :

- ❑ Évaluation morphologique (connectivités des trames vertes)
- ❑ Évaluations de accessibilités aux services et commerces selon niveau
- ❑ Évaluations de accessibilités aux zones de loisir selon niveau
- ❑ Affichage par code couleur sur les carrés de l'évaluation synthétique

## Amenities (services and facilities):

- $F_4$ : Daily frequentation, services  $S_4$  and leisure amenities  $L_4$ , morphological rules  $M_4$
- $F_3$ : Weekly frequentation, services  $S_3$  and leisure amenities  $L_3$ , morphological rules  $M_3$
- $F_2$ : Monthly frequentation, services  $S_2$  and leisure amenities  $L_2$
- $F_1$ : Occasionally frequentation, services  $S_1$  and leisure amenities  $L_1$

## Centrality levels:

- $P_1$ : Important central place (e.g. Vienna: prime city) "Oberzentrum"
- $P_2$ : Intermediate central place (town) "Mittelzentrum"
- $P_3$ : Small central place "Unterzentrum"
- $P_4$ : Petit central place (village, hamlet) "Kleinzentrum"

At each level the three or respectively two types of criteria (service, leisure and morphology evaluation) for  $M_4$  and  $M_3$  are weighted and the arithmetic mean is computed, i.e.

### Level $P_1$

$$A(P_1)[F_4] = \mu(S_4) \cap \mu(L_4) \cap \mu(M_4) = 0.33\mu(S_4) + 0.33\mu(L_4) + 0.33\mu(M_4)$$

$$A(P_1)[F_3] = \mu(S_3) \cap \mu(L_3) \cap \mu(M_3) = 0.4\mu(S_3) + 0.4\mu(L_3) + 0.2\mu(M_3)$$

$$A(P_1)[F_2] = \mu(S_2) \cap \mu(L_2) = 0.4\mu(S_2) + 0.6\mu(L_2)$$

$$A(P_1)[F_1] = \mu(S_1) \cap \mu(L_1) = 0.4\mu(S_1) + 0.6\mu(L_1)$$
[49]

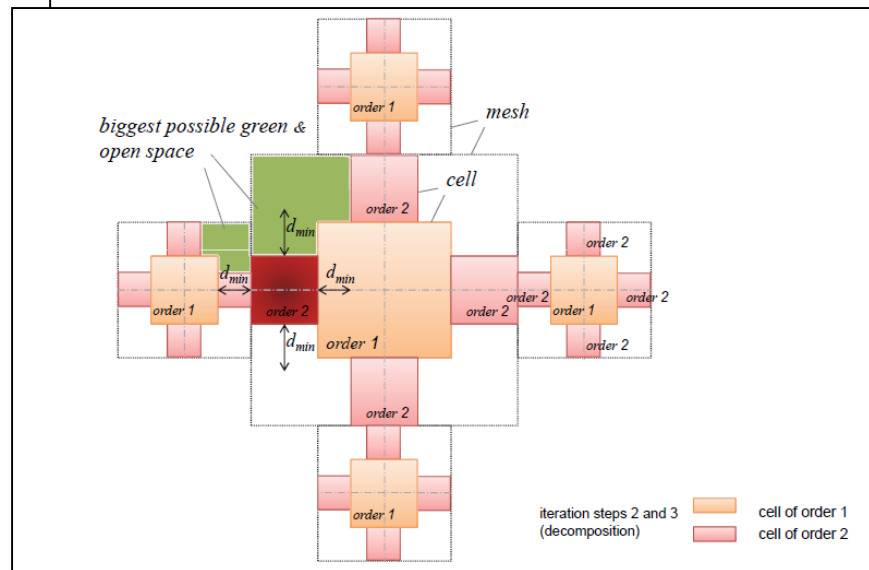
### Level $P_2$

$$A(P_2)[F_4] = \mu(S_4) \cap \mu(L_4) \cap \mu(M_4) = 0.33\mu(S_4) + 0.33\mu(L_4) + 0.33\mu(M_4)$$

$$A(P_2)[F_3] = \mu(S_3) \cap \mu(L_3) \cap \mu(M_3) = 0.4\mu(S_3) + 0.4\mu(L_3) + 0.2\mu(M_3)$$

$$A(P_2)[F_2] = \mu(S_2) \cap \mu(L_2) = 0.4\mu(S_2) + 0.6\mu(L_2)$$

$$A(P_2)[F_1] = \mu(S_1) \cap \mu(L_1) = 0.4\mu(S_1) + 0.6\mu(L_1)$$
[50]



## Construction et évaluation des scénarios

L'évaluation se fait ensuite par la simulation :

- simulation des actions des promoteurs; ces derniers urbanisent prioritairement les terrains possédant la meilleure accessibilité généralisée, en respectant le PLU
- simulation des comportements des habitants : choix résidentiel pour optimiser une satisfaction, et mobilités quotidiennes selon un programme d'activités
- Évaluation des scénarios à travers des indicateurs environnementaux et sociaux



Deux espaces considérés:

- Le Grand Besançon
- Le Grand Lyon

- ThéMA
- LAET
- LVMT

SOFT

ADEME



Agence de l'environnement  
et de la Métrique de l'Énergie

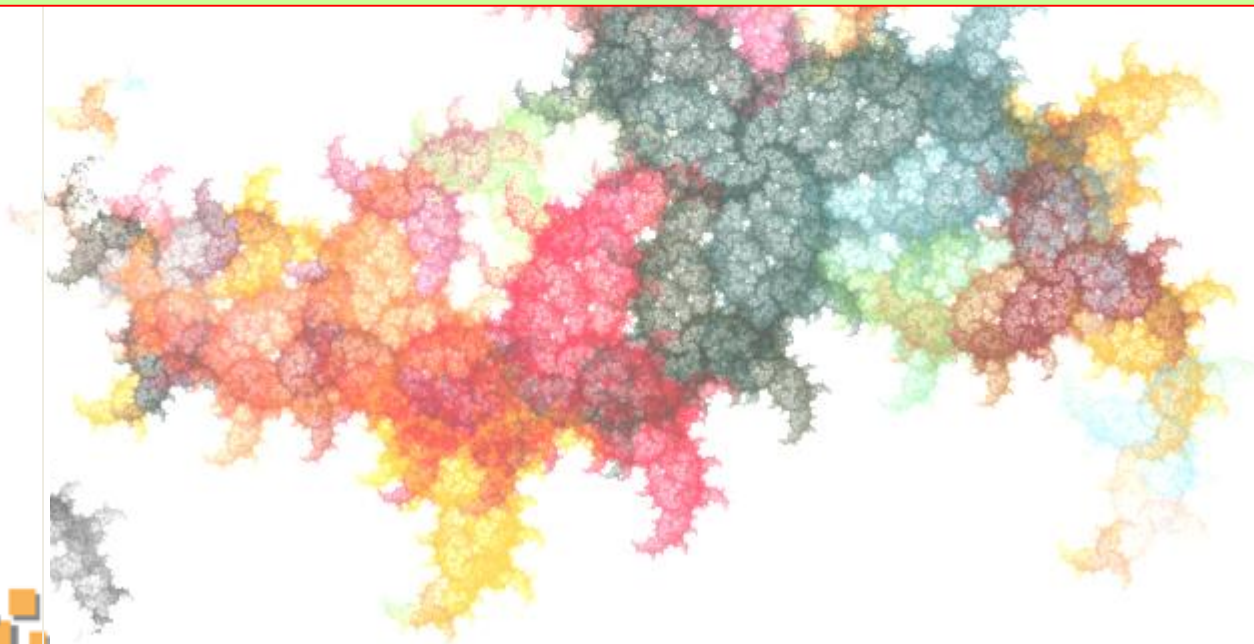
Est-Ensemble  
Grand Paris

- LVMT
- ThéMA
- Efficacity

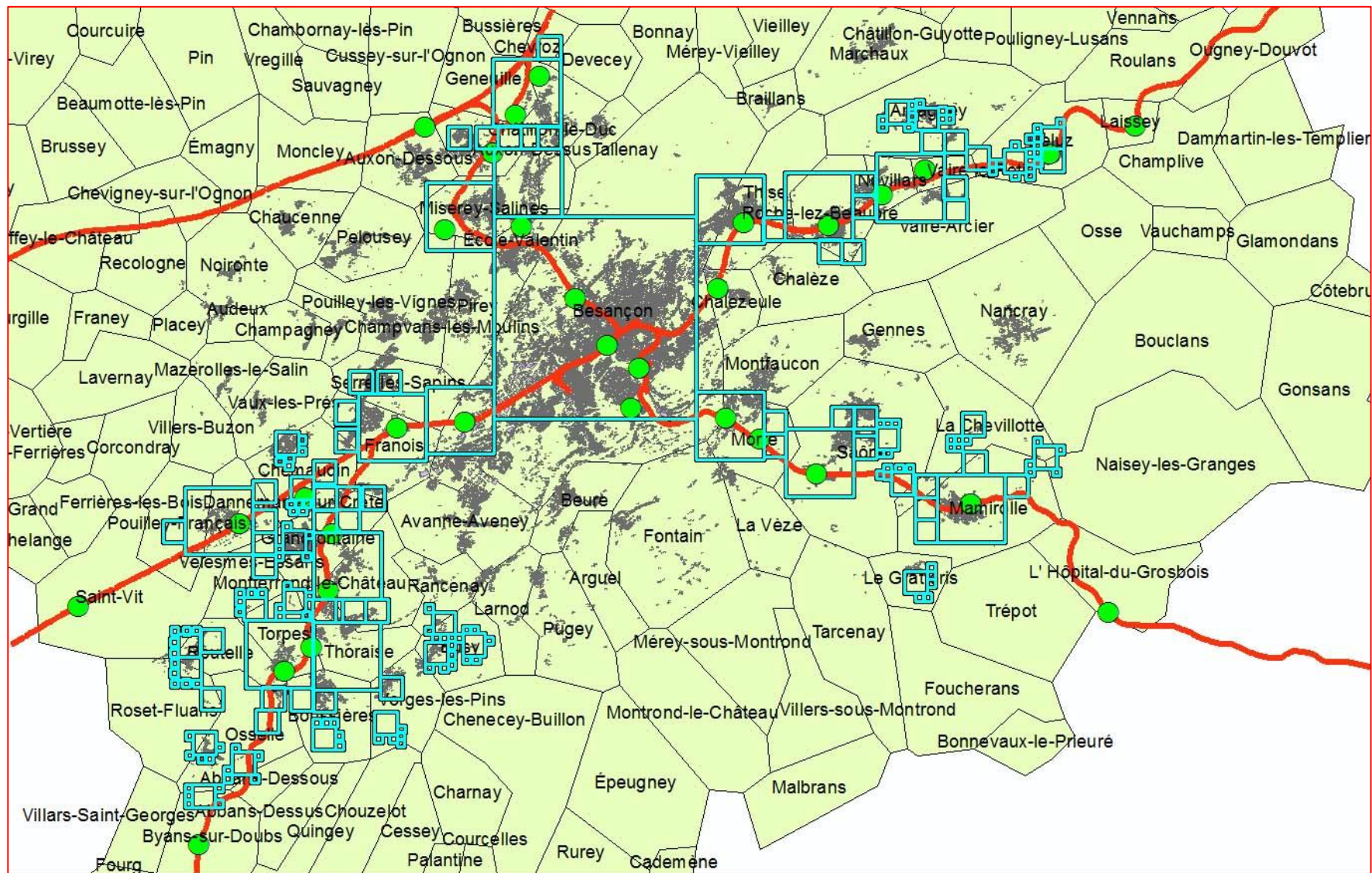
👉 ici présenté : l'exemple de Besançon



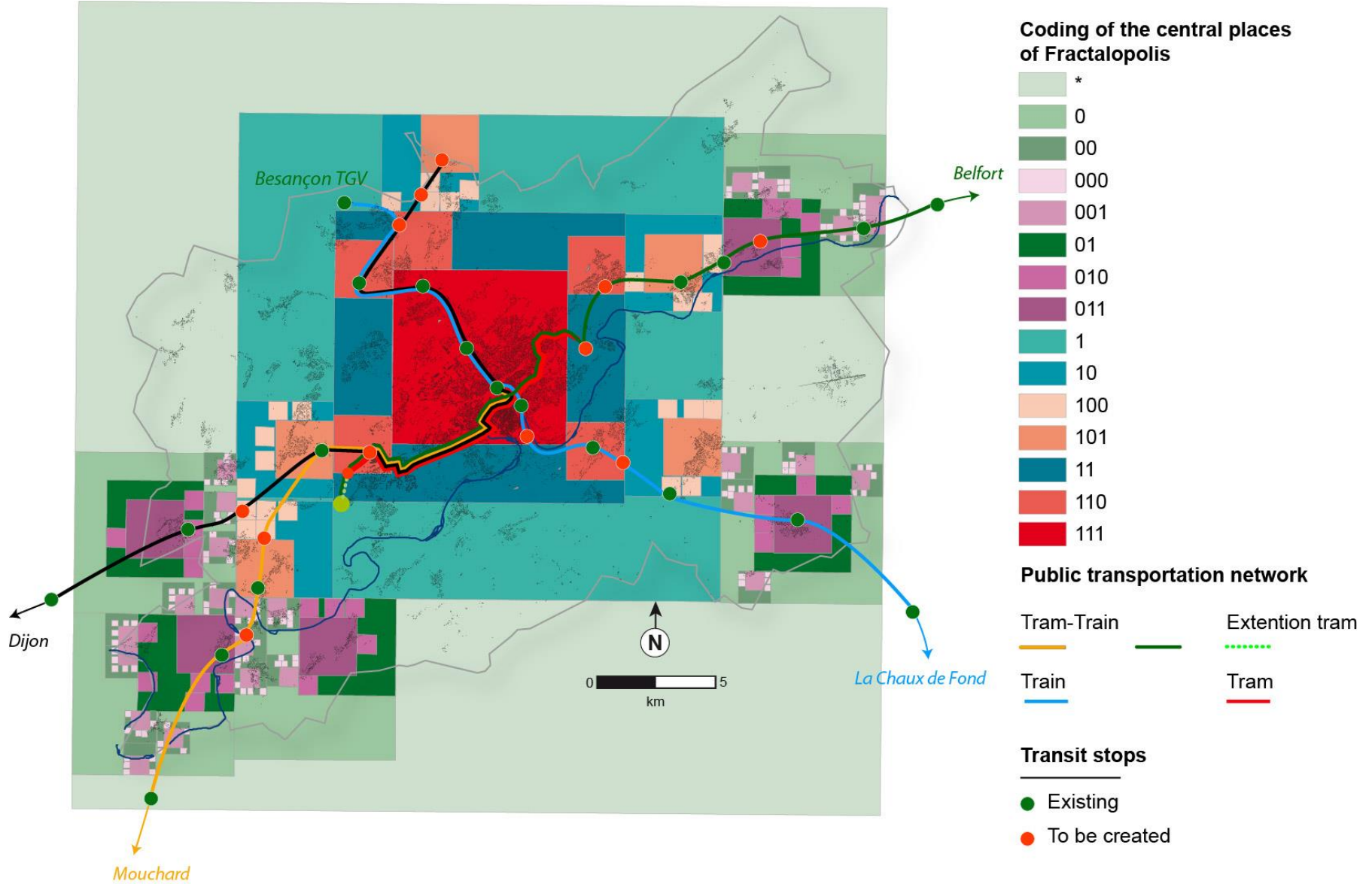
# Exemples d'application



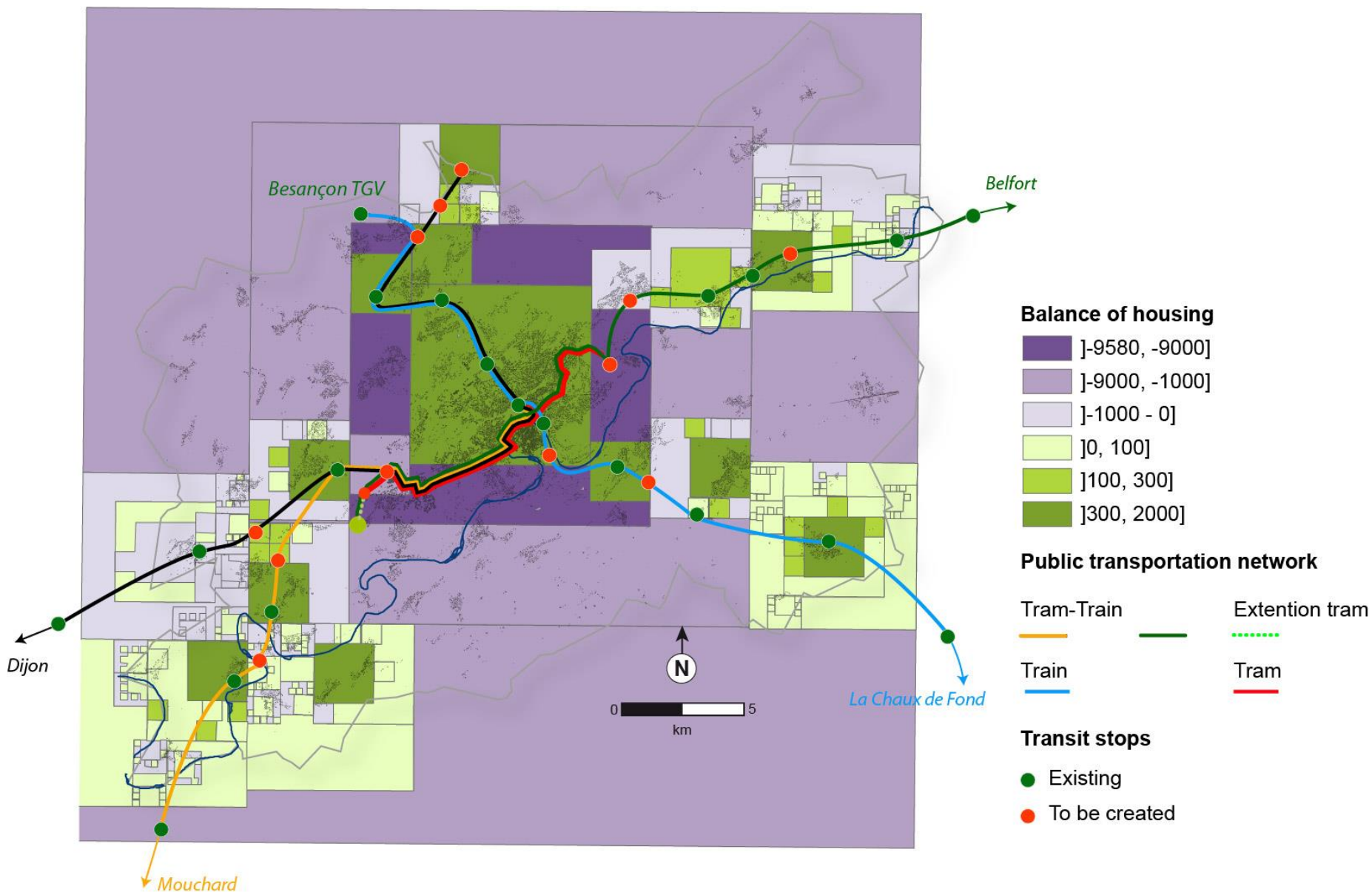
# Application du schéma à Besançon : SCOT FOD



# Le système hiérarchisé des lieux centraux et des zones « rurales »



# Suplus et déficit de logements par rapport au paramètres choisis



## Comment évaluer?

*Pour chaque scénarios évaluation des impacts sont évalués ....*

### sur la mobilité quotidienne

- génération de trafic
- Usage de VP/TC/modes doux
- Cout généralisé des déplacements
- Pollution

### sur le mobilité résidentielle sur 20 ans

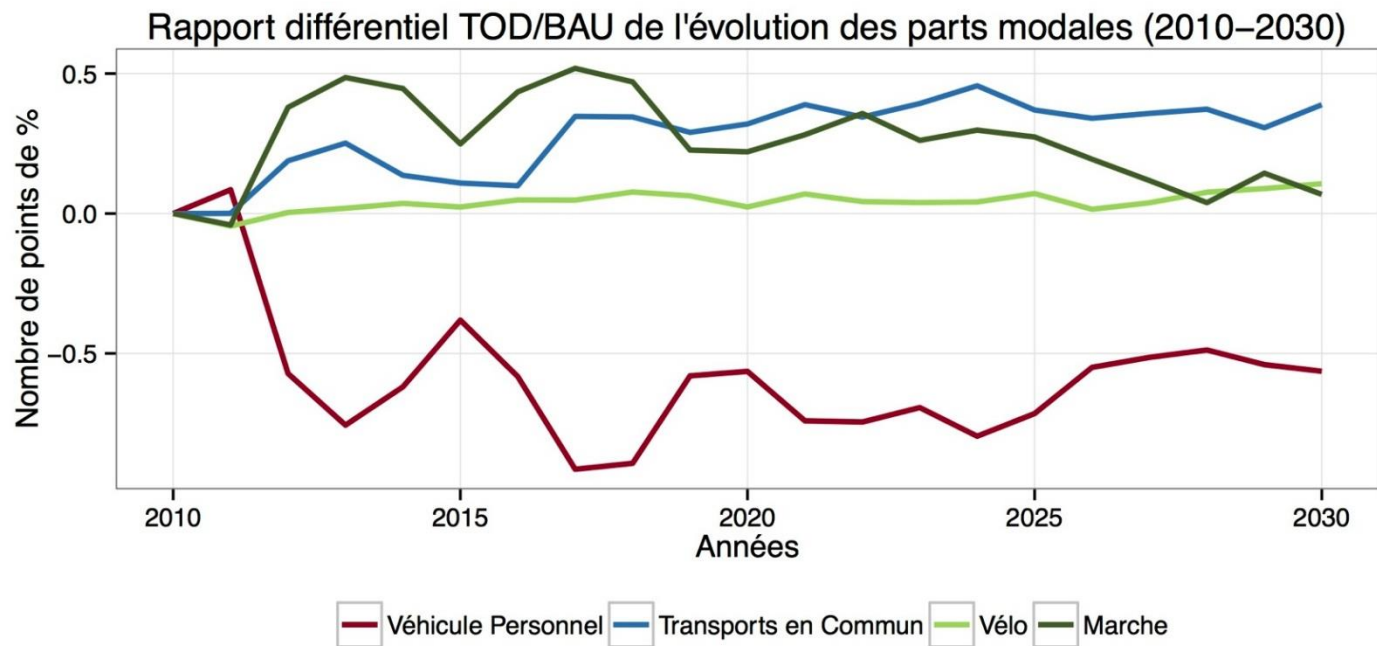
- Choix résidentiel des ménages
- Satisfaction des ménages

### sur la mixité sociale

Modèle LUTI  mobisim

**prévu : écologie et climat**

# Résultats : parts modales



Le TOD permet une réduction de la part modale VP, au profit du TC et de la marche



## Synthèse sur l'évaluation des scénarios

- 1. Forme urbaine : croissance, consommation d'espace**
  - Le FOD limite la consommation d'espace, et encourage une ville ouverte
- 2. Attractivité des zones : croissance de la population, de l'emploi, des revenus, de l'accessibilité**
  - Le FOD répartit mieux spatialement la croissance de la population et les revenus
- 3. Consommations d'énergie / mobilité**
  - Le FOD a un effet bénéfique sur la part modale VP
- 4. Impacts pour la population (temps, coûts)**
  - Les ménages sont globalement satisfaits, malgré les contraintes imposées sur le développement résidentiel

Le développement durable ne se limite pas à la lutte contre la VP!

L'approche FOD concilie les contraintes du développement durable avec la satisfaction des habitants ... d'après nos modèles. Les seuls « perdants » sont les jeunes ménage sans enfants attirés par l'urbanité.



**En cours d'élaboration**  
**- *Le Grand Paris* -**

LVMT

Laboratoire  
Ville  
Mobilité  
Transport





# En élaboration : règles d'accessibilité pour le Grand Paris

Code	Offer	Step 1			Step 2			Step 3			Step 4			
		Div	Nm	dist	Div	Nm	dist	Div	Nm	dist	Div	Nm	dist	
111	P	Central public administration	G1	-	Ext	G1	-	Ext	G1	-	Ext	G1	-	Ext
111	P	University, high level special education + research	G1	-	Ext	G1	-	Ext	G1	-	Ext	G1	-	Ext
111	P	Hospitals	G1	-	Ext	G1	-	Ext	G1	-	Ext	G1	-	Ext
111	P	High level cultural centers (opera, theatre, museum...)	G1	-	Ext	G1	-	Ext	G1	-	Ext	G1	-	Ext
111	S	First class department stores (Lafayette...)	G3	X	Ext	G3	X	Ext	G3	X	Ext	G3	X	Ext
111	S	Luxury outlets	G3	X	Ext	G3	X	Ext	G3	X	Ext	G3	X	Ext
1	P	Forests	-	-	-	G2	-	X	G2	-	X	G2	-	X
1	P	River side and wetlands	-	-	-	G2	-	X	G2	-	X	G2	-	X
1	P	Mountains, hills, landscape	-	-	-	G2	-	X	G2	-	X	G2	-	X
011	P	Regional public administration (sous-préf...)	-	-	-	G11	-	Ext	G11	-	Ext	G11	-	Ext
011	P	University, high school	-	-	-	G11	-	Ext	G11	-	Ext	G11	-	Ext
011	P	Hospitals, specialist doctors	-	-	-	G11	-	Ext	G11	-	Ext	G11	-	Ext
011	P	cultural centers (opera, performance hall, cinema, local museum...)	-	-	-	G11	-	Ext	G11	-	Ext	G11	-	Ext
011	S	Shopping mall, hypermarket, DIV, garden center	-	-	-	G31	X	X	G31	X	X	G31	X	X
011	S	Specialized shops (optical center, jewels, clothes)	-	-	-	G31	X	X	G31	X	X	G31	X	X
0	S	Golf, water sport, large parks, zoo	-	-	-	G21	X	X	G21	X	X	G21	X	X
001	S	Swimming pools, ice skating, gymnasiums, sports centers	-	-	-	-	-	-	G4	-	X	G4	-	X
001	P	Secondary school	-	-	-	-	-	-	G4	-	X	G4	-	X
001	P	Post office, bank, library	-	-	-	-	-	-	G4	-	X	G4	-	X
001	P	place of worship	-	-	-	-	-	-	G4	-	X	G4	-	X
001	P	Doctor, pharmacy, local medical centers	-	-	-	-	-	-	G4	-	X	G4	-	X
001	S	hairstresser, florist, butcher, fish shop, clothes sh...	-	-	-	-	-	-	G5	X	-	G5	X	-
001	S	Restaurants, café	-	-	-	-	-	-	G5	X	-	G5	X	-
001	S	Car repair	-	-	-	-	-	-	G5	X	-	G5	X	-
001	S	farmer's market	-	-	-	-	-	-	G6	X	-	G6	X	-
001	S	Supermarket	-	-	-	-	-	-	G6	X	X	G6	X	X
00	P	Local parks, squares, playgrounds	-	-	-	-	-	-	-	-	-	G7	-	X
0000	S	Bakery, grocery,	-	-	-	-	-	-	-	-	-	G8	X	X
0000	S	Newsagents, tobacconist, cashmachine	-	-	-	-	-	-	-	-	-	G8	X	X
0000	S	Snackbar, bar	-	-	-	-	-	-	-	-	-	G8	X	X
		Access – "metric"	Step 1			Step 2			Step 3			Step 4		
		RER, regional train	G1,G3			G1,G3,G2,G11,G21,G31			G1,G3,G2,G11,G21,G31			G1,G3,G2,G11,G21,G31		
		Bus, tramway, subway				G2,G11,G21,G31			G2,G11,G21,G31,G4,G5,G6			G2,G11,G21,G31,G4,G5,G6		
		Road	G1,G3			G1,G3,G2,G11,G21,G31			G1,G3,G2,G11,G21,G31,G4,G5,G6			G1,G3,G2,G11,G21,G31,G4,G5,G6,G8		
		Bicycle							G4			G4,G8		
		Pedestrian										G8		
		Road distance of element										X		

Basé sur l'hierarchie des besoins

# Formalisation généralisée

and we obtain for the 1st step

$$\eta N = \alpha \eta N \sum_{i=1}^m a_i + (1-\alpha) \eta N$$

where

$$\sum_{i=1}^m a_i = 1$$

$$\eta N = \alpha \eta N \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m \eta_{ij}^{(a)} a_i + (1-\alpha) \eta N$$

$$= \alpha \eta N \sum_{i=1}^m \eta_i^{(a)} a_i + (1-\alpha) \eta N$$

Permet de traiter des aires de chalandises des commerces, des zones d'emplois

- Évaluation de l'offre de commerces et services, « attractivités et nécessités »
- Évaluation marché et interventions publiques
- Évaluation des scénarios selon critères supplémentaires

ensuring that population is correctly acting on the market like services

$$= \alpha \beta \eta N \left\{ \underbrace{\sum_{i=1}^m \eta_i^{(a)} a_i}_1 \underbrace{\sum_{j=1}^m \eta_j^{(b)} b_j}_1 \right\}$$

3<sup>rd</sup> step

$$\eta N = \alpha \beta \gamma \eta N \left\{ \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m \eta_{ij}^{(a)} a_i \sum_{k=1}^m \sum_{l=1}^m \eta_{kl}^{(b)} b_k \sum_{r=1}^m \sum_{s=1}^m \eta_{rs}^{(c)} c_r \right\}$$

what yield e.g. for the client 134

$$\eta N_{134} = \eta_1^a a_1 \eta_2^b b_2 \eta_4^c c_4 \eta N$$



**Merci pour votre  
attention !**

***Questions ??***